

# OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NUM SUPERMERCADO UTILIZANDO O REVIT® E ESTRATÉGIAS DE *DAYLIGHTING* - SOLUÇÕES PASSIVAS E ATIVAS

Luis Gabriel Viana Vendrame

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



# OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NUM SUPERMERCADO UTILIZANDO O REVIT® E ESTRATÉGIAS DE *DAYLIGHTING* - SOLUÇÕES PASSIVAS E ATIVAS

Luis Gabriel Viana Vendrame  
1160387

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira, e coorientação de Nuno Miguel Morão Enes Gonçalves e de Renan Manozzo Galante.

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





## JÚRI

### **Presidente**

Engenheiro Leonardo José Da Silva Ribeiro

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Orientador**

Engenheira Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Coorientador**

Mestre Renan Manozzo Galante

Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná

### **Coorientador**

Engenheiro Nuno Miguel Morão Enes Gonçalves

Diretor técnico e sócio gerente, Enescoord

### **Arguente**

Doutora Ana Isabel Palmero Marrero

Professora Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Luiz Vendrame e Geni Viana do Carmo Vendrame, e minha irmã, Gabriela Viana Vendrame, pelo infinito amor, carinho e apoio recebido nesses anos todos.

A professora Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira, pelo apoio e orientação.

Ao engenheiro Nuno Miguel Morão Enes Gonçalves, pela oportunidade do estágio, apoio e orientação na realização do trabalho.

Ao diretor do mestrado do ISEP, doutor Francisco José Gomes da Silva, pela dedicação e apoio nos problemas encontrados durante o período de realização do mestrado.

A todos os professores que contribuíram na minha educação, desde a alfabetização até a conclusão do mestrado, em especial ao professor Renan Galante, pelo auxílio e orientação.

Fica aqui expresso minha gratidão e o meu sincero agradecimento.



## PALAVRAS CHAVE

Simulação dinâmica energética de edifícios, metodologia BIM, Autodesk Revit® 2017, *daylighting*, otimização energética em edifícios, análise de desempenho de construção, Insight 360, Green Building Studio®

## RESUMO

Este trabalho aborda a otimização energética em edifícios comerciais em Portugal, cujo objetivo principal é apresentar medidas que possam diminuir o consumo energético de um supermercado localizado em Tomar, utilizando o *software* Revit® para execução das simulações dinâmicas energéticas, e estratégias de *daylighting* para controlo da iluminação natural no edifício, através de soluções passivas e ativas.

A revisão bibliográfica apresenta os seguintes assuntos: histórico da legislação energética da União Europeia e de Portugal; simulação dinâmica de edifícios; metodologia BIM; *software* Revit®; Green Building Studio®; estratégias de otimização energética em edifícios; estratégias de controlo da iluminação natural (*daylighting*); e alguns sistemas técnicos utilizados nas estratégias de iluminação natural.

As medidas de otimização energética propostas para o supermercado foram centradas na conservação de energia, partindo de modificações nos elementos construtivos do edifício, na gestão dos sistemas técnicos, como iluminação e climatização, e na possibilidade de produção de energia elétrica fotovoltaica.

Após a obtenção dos resultados relacionados as propostas de otimização energética por meio do *software* Revit®, e compará-los com alguns resultados obtidos através do *software* Trace® 700, pode-se afirmar que é possível diminuir os consumos energéticos do supermercado, entretanto, para a implementação de algumas medidas de otimização energética é necessário a realização de estudos de viabilidade económica e luminotécnicos, e devido algumas limitações encontradas no Revit®, como não permitir que o utilizador especifique os equipamentos de climatização, recomenda-se a utilização de outros *softwares* para execução de simulações dinâmicas para obtenção de resultados específicos, como Trace® 700 ou EnergyPlus®.



**KEYWORDS**

*Dynamic building energy simulation, BIM methodology, Autodesk Revit® 2017, daylighting, energy optimization, building performance analysis, Insight 360, Green Building Studio.*

**ABSTRACT**

*This work deals with the energy optimization in commercial buildings in Portugal, whose main objective is to present measures that can reduce the energy consumption of a supermarket located in Tomar, using Revit® software to execute the dynamic energy simulations, and daylighting strategies to control the natural lighting in the building, through passive and active solutions.*

*The bibliographical review presents the following subjects: history of the energy legislation of the European Union and of Portugal; dynamic simulation of buildings; BIM methodology; Revit® software; Green Building Studio®; energy optimization strategies in buildings; strategies for controlling daylighting; and some technical systems used in natural lighting strategies.*

*The energy optimization measures proposed for the supermarket were focused on energy conservation, starting from modifications in the building elements of the building, management of technical systems such as lighting and air conditioning, and the possibility of producing photovoltaic electric energy.*

*After obtaining the results related to the energy optimization proposals through Revit® software, and comparing them with some results obtained through the Trace® 700 software, it can be stated that it is possible to reduce the energy consumption of the supermarket, however, for the implementation of some energy optimization measures, it is necessary to carry out economic feasibility studies and lighting technicians, and due to some limitations found in Revit®, as not allowing the user to specify the air conditioning equipment, it is recommended to use other software to execution of dynamic simulations to obtain specific results, such as Trace® 700 or EnergyPlus®.*





## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

UE	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
GBS	Green Building Studio®
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
FER	Fontes de Energia Renováveis
PNAEE	Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética
SCE	Certificação Energética dos Edifícios
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
DL	Decreto-Lei
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RQSECE	Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (Decreto-Lei n.º 78/2006)
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
OMS	Organização Mundial da Saúde
ISO	<i>Organization for Standardization</i>
CEN	Comité Européen de Normalisation
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 118/2013)
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
NZEB	<i>Nearly zero energy building</i>
PQ	Perito Qualificado para a certificação energética
TIM	Técnico de instalação e manutenção de edifícios e sistemas
IEE	Indicador de Eficiência Energética

PES	Pequeno edifício de comércio e serviços
GES	Grande edifício de comércio e serviços
PRE	Plano de Racionalização Energética
SPF	<i>Seasonal Performance Factor</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
Ltda.	Limitada
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CERL	<i>Construction Engineering Research Laboratory</i>
LANL	<i>Los Alamos National Laboratory</i>
LBNL	<i>Lawrence Berkeley National Laboratory</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
UIUC	<i>University of Illinois Urbana- Champaign</i>
OSU	<i>Oklahoma State University</i>
FSEC	<i>Florida Solar Energy Center</i>
DOE	<i>Department of Energy</i>
OBT	<i>Office of Building Technology</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
NIBS	<i>National Institute of Building Sciences</i>
UV	Ultravioleta (radiação)
ISO	<i>Organization for Standardization</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
MEP	<i>Mechanical, electrical, and plumbing</i>
CB ECS	<i>Commercial Building Energy Consumption Survey</i>
LPD	<i>Lighting Power Densities</i> – Densidade de energia de iluminação
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
AEC	<i>Architecture, Engineering and Construction</i>
HOE	<i>Holographic Optical Elements</i>
EUA	Estados Unidos da América
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
CCTV	<i>Closed-Circuit Television</i>
WC	<i>Water Closet</i>
PE	Parede Exterior
PI	Parede Interior
IS	<i>Indoor Sanitary</i>
IT	<i>Information Technology</i>
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>

EPS	<i>Expanded PolyStyrene</i> (Poliestireno expandido moldado)
PVC	<i>PolyVinyl Chloride</i> (policloreto de vinilo)
VAV	Volume de Ar Variável
VSD	<i>Variable Speed Drive</i> (motor de velocidade variável)
AFUE	<i>Annual Fuel Utilization Efficiency</i> (eficiência anual de utilização de combustível)
HSPF	<i>Heating Seasonal Performance Factor</i> (fator de desempenho sazonal de aquecimento)
PTHP	<i>Packaged Terminal Heat Pump</i> (bomba de aquecimento de terminal complete)
sDA	<i>Spatial Daylight Autonomy</i>
ASE	<i>Annual Sunlight Exposure</i>
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
MH	<i>Mounting Height</i>
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i>
SHGC	<i>Solar Heat Gain Coefficient</i>
Vt	Transmissão de luz visível

#### Lista de Unidades

W	Watt
km	Quilómetro
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
°C	Grau Celsius
Hz	Hertz
lm	Lúmen
h	Hora
min	Minuto
Ton	Tonelada
J	Joule
MJ	Mega Joule
°	Grau

#### Lista de Símbolos

®	Marca registrada
™	<i>Trademark</i>
€	Euro

## Nomenclatura

Termo	Designação	Unidade
U	Coeficiente de transmissão térmica	W/(m <sup>2</sup> °C)
ρ	Densidade	Kg/m <sup>3</sup>
λ	Condutividade térmica	W/(m°C)
R	Resistência térmica	m <sup>2</sup> °C/W
R <sub>j</sub>	Resistência térmica de camada j da envolvente do edifício	m <sup>2</sup> °C/W
R <sub>si</sub>	Resistência térmica interior	m <sup>2</sup> °C/W
R <sub>se</sub>	Resistência térmica exterior	m <sup>2</sup> °C/W
G <sub>Sul</sub>	Energia solar média mensal do mês mais frio da estação de aquecimento	kWh/(m <sup>2</sup> mês)

# GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Daylighting</i>	Estratégia de controlo de entrada de luz solar direta, luz natural (difusa) e claraboia difusa num edifício
<i>Brise-soleil</i>	Proteção solar externa ao edifício, também chamadas de brisas solares ou lamelas
Multizona	Quando todos os ambientes de um edifício são considerados na simulação dinâmica energética
Monozona	Quando o edifício é simplificado por uma única zona na simulação dinâmica energética
<i>Payback</i>	Estudo de viabilidade económica que indica o período de retorno de um investimento.



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – COMPARAÇÃO DA DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE A UNIÃO EUROPEIA, BRASIL, CHINA, ÍNDIA, JAPÃO, RÚSSIA, EUA, SENDO QUE O EIXO NA VERTICAL REPRESENTA A DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA, E O EIXO NA HORIZONTAL, O TEMPO EM ANOS [3].	38
FIGURA 2 - DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE PORTUGAL E DA UNIÃO EUROPEIA ENTRE OS ANOS DE 1990 A 2015 [12].	41
FIGURA 3 - METAS EUROPEIAS E PORTUGUESAS PARA SETORES CONSUMIDORES DE ENERGIA ESPECÍFICOS [15].	42
FIGURA 4 - GRÁFICO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DE PORTUGAL DIVIDIDOS ENTRE OS SETORES CONSUMIDORES REFERENTE AO ANO DE 2015 [16].	43
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO CRONOLÓGICA DAS PRINCIPAIS REGULAMENTOS REFERENTES AO CONSUMO ENERGÉTICO EM EDIFÍCIOS - ADAPTADA [2, P. 2].	50
FIGURA 6 - FLUXO DE TRABALHO NO PROCESSO TRADICIONAL [85, P. 5].	67
FIGURA 7 – FLUXO DE TRABALHO NO PROCESSO BIM [85, P. 5].	67
FIGURA 8 - PERCENTAGEM DE <i>DOWNLOADS</i> DE OBJETOS BIM EFETUADOS ATRAVÉS DA NATIONAL BIM LIBRARY [75, P. 15].	70
FIGURA 9 - COMPARAÇÃO DO FLUXO LUMINOSO ENTRE O TÚNEL DE LUZ E ALGUNS MODELOS DE LÂMPADAS [108, P. 4].	104
FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO SOLAR DA SOLATUBE® [113].	105
FIGURA 11 – COMPARATIVO ENTRE O SOLATUBE 750DS (LINHA ROXA), E O 350DS (LINHA CINZA), NO VERÃO EM RELAÇÃO LÚMENS POR HORA DO DIA [116, P. 7].	107
FIGURA 12 - COMPARATIVO ENTRE O SOLATUBE 750DS (LINHA ROXA), E O 350DS (LINHA CINZA), NA PRIMAVERA E OUTONO EM RELAÇÃO LÚMENS POR HORA DO DIA [116, P. 7].	108
FIGURA 13 - COMPARATIVO ENTRE O SOLATUBE 750DS (LINHA ROXA), E O 350DS (LINHA CINZA), NO INVERNO EM RELAÇÃO LÚMENS POR HORA DO DIA [116, P. 7].	109
FIGURA 14 - IMAGEM DO SUPERMERCADO EM TOMAR COM REPRESENTAÇÃO DA DIREÇÃO NORTE.	115
FIGURA 15 - PLANTA BAIXA DO NÍVEL 0.	117
FIGURA 16 – PLANTA BAIXA DO NÍVEL 1.	118
FIGURA 17 - IDENTIFICAÇÃO DAS PAREDES EXTERNAS E DO PAVIMENTO EM CONTATO COM O SOLO (NÍVEL 0).	120
FIGURA 18 – IDENTIFICAÇÃO DAS PAREDES INTERNAS PRESENTES NO NÍVEL 0, ATRAVÉS DAS SUAS ESPESSURAS.	121
FIGURA 19 - IDENTIFICAÇÃO DAS PAREDES INTERNAS PRESENTES NO NÍVEL 1, ATRAVÉS DAS SUAS ESPESSURAS.	122
FIGURA 20 - LOCALIZAÇÃO DAS CLARABOIAS PRESENTES NO EDIFÍCIO.	123
FIGURA 21 - REPRESENTAÇÃO DOS ESPAÇOS CLIMATIZADOS E OS ESPAÇOS NÃO CLIMATIZADOS.	124
FIGURA 22 - REPRESENTAÇÃO DOS ESPAÇOS CLIMATIZADOS - VISTA DE CORTE 1.	124
FIGURA 23 - REPRESENTAÇÃO DOS ESPAÇOS CLIMATIZADOS - VISTA DE CORTE 2.	125
FIGURA 24 - REPRESENTAÇÃO DOS ESPAÇOS CLIMATIZADOS - VISTA DE CORTE 3.	125
FIGURA 25 - UNIDADE COMPACTA LENNOX, MODELO ENERGY 019 AH106FM1M.	126

FIGURA 26 - UNIDADE EXTERNA DO VRV DA DAIKIN, MODELO RXYQ10T.	126
FIGURA 27 - DUAS UNIDADES INTERNAS DO VRV DA DAIKIN, MODELO FXHQ63A.	127
FIGURA 28 - ILUMINAÇÃO NA ZONA DE VENDAS.	130
FIGURA 29 - ILUMINAÇÃO DA ZONA DE PREPARAÇÃO.	130
FIGURA 30 - ILUMINAÇÃO DO CAIS NOTURNO.	131
FIGURA 31 - ILUMINAÇÃO DO ESCRITÓRIO.	132
FIGURA 32 - ILUMINAÇÃO DA SALA DO PESSOAL.	132
FIGURA 33 - TERMO ACUMULADOR MODELO MULTI-F VERTICAL DA VIDEIRA CAPACIDADE 50 LITROS.	133
FIGURA 34 - FUNÇÃO DE "CONFIGURAÇÃO DE ENERGIA" DO REVIT®.	134
FIGURA 35 – REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO ANALÍTICO [121].	135
FIGURA 36 – REPRESENTAÇÃO DA SUPERFÍCIE ANALÍTICA [122].	135
FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO DA ZONA DO PERÍMETRO [123].	136
FIGURA 38 – ILUSTRAÇÃO DA DIVISÃO DE ZONAS DO PERÍMETRO [123].	136
FIGURA 39 - FUNÇÃO DE CONFIGURAÇÕES AVANÇADAS DE ENERGIA DO REVIT®.	137
FIGURA 40 - REPRESENTAÇÃO DO FLUXO DE TRABALHO.	141
FIGURA 41 – VISTA EXTERIOR DA FACHADA ENVIDRAÇADA VOLTADA À DIREÇÃO SUDOESTE.	142
FIGURA 42 – PAREDE EXTERIOR DO SUPERMERCADO VOLTADA PARA A DIREÇÃO SUDESTE.	143
FIGURA 43 – VISTA EXTERIOR DO SUPERMERCADO NA DIREÇÃO SUL DO MODELO EM REVIT®.	143
FIGURA 44 – FOTO DA ZONA DE VENDAS DO SUPERMERCADO.	143
FIGURA 45 - VISTA INTERIOR DO SUPERMERCADO NO MODELO REVIT®.	144
FIGURA 46 - REPRESENTAÇÃO DA NOTA DE AVISO DO GBS DEVIDO O ELEMENTO POSSUIR UMA ESPESURA MENOR QUE 2,5 CM.	145
FIGURA 47 – VISTA EXTERIOR DO SUPERMERCADO CRIADA UTILIZANDO O REVIT®.	146
FIGURA 48 – DISTRIBUIÇÃO DA RADIAÇÃO HORIZONTAL GLOBAL PARA A REGIÃO DE TOMAR.	147
FIGURA 49 - DISTRIBUIÇÃO DA RADIAÇÃO HORIZONTAL DIFUSA PARA A REGIÃO DE TOMAR.	148
FIGURA 50 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DO SUPERMERCADO.	150
FIGURA 51 - PERFIL DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ELÉTRICA.	150
FIGURA 52 - PERFIL DE UTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS.	151
FIGURA 53 - ESCOLHA DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO NO REVIT®.	152
FIGURA 54 - JANELA DE "PROPRIEDADES" DO REVIT®.	156
FIGURA 55 - OPÇÕES PARA INFORMAR OS DADOS DE ENTRADA NA JANELA DAS CARGAS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DO REVIT®.	157
FIGURA 56 – EXEMPLO DE TABELA EDITÁVEL CRIADA NO REVIT® PARA PREENCHER AS VARIÁVEIS RELACIONADAS COM A SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA.	157
FIGURA 57 - MODELO DE ENERGIA GERADO PARA A ANÁLISE ENERGÉTICA.	157
FIGURA 58 - CONSUMO ANUAL DE ENERGIA DO SUPERMERCADO.	158
FIGURA 59 – CONSUMO ANUAL DE ENERGIA ELÉTRICA POR SECTOR CONSUMIDOR SEM CONSIDERAR OS EQUIPAMENTOS DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA.	159
FIGURA 60 - CONSUMO MENSAL DE ELETRICIDADE DO SUPERMERCADO.	162
FIGURA 61 – PERFIL DE TEMPERATURAS MENSAIS DA LOCALIZAÇÃO DO SUPERMERCADO.	163
FIGURA 62 – GRÁFICO DA CARGA MENSAL DE AQUECIMENTO DO SUPERMERCADO.	164
FIGURA 63 - GRÁFICO DA CARGA MENSAL DE ARREFECIMENTO DO SUPERMERCADO.	165



FIGURA 64 – ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO SOLSTÍCIO DE VERÃO NA FRENTE DO SUPERMERCADO.	169
FIGURA 65 - ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO SOLSTÍCIO DE VERÃO ATRÁS DO SUPERMERCADO.	169
FIGURA 66 - ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO SOLSTÍCIO DE INVERNO NA FRENTE DO SUPERMERCADO.	170
FIGURA 67 - ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO SOLSTÍCIO DE INVERNO ATRÁS DO SUPERMERCADO.	171
FIGURA 68 - ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO EQUINÓCIO DE PRIMAVERA NA FRENTE DO SUPERMERCADO.	171
FIGURA 69 - ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO EQUINÓCIO DE PRIMAVERA ATRÁS DO SUPERMERCADO.	172
FIGURA 70 - ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA EQUINÓCIO DE OUTONO NA FRENTE DO SUPERMERCADO.	173
FIGURA 71 - ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA EQUINÓCIO DE OUTONO ATRÁS DO SUPERMERCADO.	173
FIGURA 72 - RESUMO DA ANÁLISE DA LUZ NATURAL LEED V4QC7 OPT 2 PARA OS AMBIENTES DO SUPERMERCADO.	174
FIGURA 73 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE LUZ NATURAL REFERENTE AOS NÍVEIS 0 E 1.	177
FIGURA 74 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE LUZ NATURAL REFERENTE A CADA AMBIENTE DO SUPERMERCADO.	178
FIGURA 75 – RESULTADOS DO <i>DAYLIGHT AUTONOMY</i> (SDA <i>PREVIEW</i> ) EM CADA AMBIENTE DO SUPERMERCADO.	179
FIGURA 76 – INFORMAÇÕES PRESENTES NO DIAGRAMA SOLAR [130, P. 54].	201
FIGURA 77 - ÂNGULO ALFA INTERNO E EXTERNO [130, P. 59].	201
FIGURA 78 - REPRESENTAÇÃO DOS ÂNGULOS A, B E $\Gamma$ [143, P. 92].	202
FIGURA 79 - TRANSFERIDOR DE ÂNGULO [130, P. 59].	202
FIGURA 80 - ÂNGULOS A, B E $\Gamma$ [130, P. 60].	203
FIGURA 81 - DIAGRAMA SOLAR CRIADO ATRAVÉS DO <i>SOFTWARE</i> SOL-AR.	203
FIGURA 82 – REPRESENTAÇÃO DOS ÂNGULOS A E $\Gamma$ NO DIMENSIONAMENTO DE <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS.	206
FIGURA 83 - MÁSCARA DE SOMBRA PARA <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS.	207
FIGURA 84 - REPRESENTAÇÃO DO ÂNGULO A EM GRAUS, E AS DIMENSÕES DA <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS EM METROS, NO MODELO REVIT®.	208
FIGURA 85 - REPRESENTAÇÃO DO ÂNGULO $\Gamma$ NO MODELO REVIT®.	208
FIGURA 86 - VISTA EXTERIOR DO SUPERMERCADO COM AS <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS.	208
FIGURA 87 - ERRO NO MODELO DE ENERGIA COM A MODELAGEM DAS <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS.	209
FIGURA 88 - REPRESENTAÇÃO DO ÂNGULO B NO DIMENSIONAMENTO DAS <i>BRISE-SOLEILS</i> VERTICAIS [143, P. 101].	213
FIGURA 89 - MÁSCARA DE SOMBRA PARA <i>BRISE-SOLEILS</i> VERTICAIS COM B IGUAL A 70°.	214
FIGURA 90 - MÁSCARA DE SOMBRA PARA <i>BRISE-SOLEILS</i> VERTICAIS COM B IGUAL A 20°.	214
FIGURA 91 - DIMENSÕES DAS <i>BRISE-SOLEILS</i> VERTICAIS.	215
FIGURA 92 - VISTA EXTERIOR DO SUPERMERCADO COM AS <i>BRISE-SOLEILS</i> VERTICAIS.	215

FIGURA 93 - MODELO REVIT® EXPORTADO PARA O DIALUX.	238
FIGURA 94 – ERRO DE CÁLCULO NA SIMULAÇÃO LUMINOTÉCNICA COM O MODELO EXPORTADO DO REVIT®.	238
FIGURA 95 - MODELO DESENHADO NO DIALUX.	239
FIGURA 96 - ILUSTRAÇÃO DO CRITÉRIO DE ESPAÇAMENTO ENTRE OS TUBOS SOLARES [117].	242
FIGURA 97 - DISTRIBUIÇÃO DOS TUBOS SOLARES.	243
FIGURA 98 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 1.	243
FIGURA 99 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 2.	244
FIGURA 100 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 3.	245
FIGURA 101 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 4.	246
FIGURA 102 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 5.	246
FIGURA 103 – ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 6.	247
FIGURA 104 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 7.	248
FIGURA 105 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 8.	248
FIGURA 106 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS SIMULADA NO CENÁRIO 9.	249
FIGURA 107 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS OBTIDA NO CENÁRIO 10.	250
FIGURA 108 - ILUMINÂNCIA NA ZONA DE VENDAS OBTIDA NO CENÁRIO 11.	250
FIGURA 109 INDICADORES DE DESEMPENHO DO SUPERMERCADO EM TOMAR.	258
FIGURA 110 - ÁREA DE INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.	265
FIGURA 111 - SOMBREAMENTO SOBRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ÀS 7H07MIN NO SOLSTÍCIO DE VERÃO.	266
FIGURA 112 - SOMBREAMENTO SOBRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ÀS 17H52MIN NO SOLSTÍCIO DE VERÃO.	266
FIGURA 113 - SOMBREAMENTO SOBRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ÀS 18H52MIN NO SOLSTÍCIO DE VERÃO.	267
FIGURA 114 - SOMBREAMENTO SOBRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS SOLARES ÀS 8H7MIN NO SOLSTÍCIO DE INVERNO.	267
FIGURA 115 - SOMBREAMENTO SOBRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS SOLARES ÀS 9H07MIN NO SOLSTÍCIO DE INVERNO.	268
FIGURA 116 - SOMBREAMENTO SOBRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ÀS 16H22MIN NO SOLSTÍCIO DE INVERNO.	268
FIGURA 117 - SOMBREAMENTO SOBRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ÀS 16H52MIN NO SOLSTÍCIO DE INVERNO	268
FIGURA 118 - SOMBREAMENTO SOBRE OS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ÀS 17H07MIN NO SOLSTÍCIO DE INVERNO.	269
FIGURA 119 - CONFIGURAÇÕES DA ANÁLISE SOLAR PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.	270
FIGURA 120 – PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA SIMULADA PELO REVIT®	270
FIGURA 121 – PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA SIMULADA PELA SCE.ER.	272
FIGURA 122 – RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS ESTABELECIDOS PELA ITE 50 (QUADRO I.3) [118, P. I.11].	308
FIGURA 123 - RESISTÊNCIAS TÉRMICAS PARA PAREDES SIMPLES DE ALVENARIA RETIRADO DA ITE 50 (QUADRO I.5) [118, P. I.12].	308

FIGURA 124 – CONDUTIBILIDADES TÉRMICAS PARA DIVERSOS MATERIAIS ESTABELECIDOS PELA ITE 50 (QUADRO I.2) [118, P. I.6].	309
FIGURA 125 – PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/7 <i>FACILITY</i> PARA DIAS ÚTEIS [135].	334
FIGURA 126 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/7 <i>FACILITY</i> PARA OS SÁBADOS [135].	335
FIGURA 127 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/7 <i>FACILITY</i> PARA OS DOMINGOS [135].	335
FIGURA 128 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/6 <i>FACILITY</i> PARA DIAS ÚTEIS [135].	335
FIGURA 129 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/6 <i>FACILITY</i> PARA OS SÁBADOS [135].	336
FIGURA 130 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/6 <i>FACILITY</i> PARA OS DOMINGOS [135].	336
FIGURA 131 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/5 <i>FACILITY</i> PARA DIAS ÚTEIS [135].	336
FIGURA 132 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/5 <i>FACILITY</i> PARA OS SÁBADOS [135].	337
FIGURA 133 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 24/5 <i>FACILITY</i> PARA OS DOMINGOS [135].	337
FIGURA 134 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/7 <i>FACILITY</i> PARA DIAS ÚTEIS [135].	337
FIGURA 135 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/7 <i>FACILITY</i> PARA OS SÁBADOS [135].	338
FIGURA 136 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/7 <i>FACILITY</i> PARA OS DOMINGOS [135].	338
FIGURA 137 – PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/6 <i>FACILITY</i> PARA DIAS ÚTEIS [135].	339
FIGURA 138 — PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/6 <i>FACILITY</i> PARA OS SÁBADOS [135].	339
FIGURA 139 — PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/6 <i>FACILITY</i> PARA OS DOMINGOS [135].	339
FIGURA 140 – PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/5 <i>FACILITY</i> PARA DIAS ÚTEIS [135].	340
FIGURA 141 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/5 <i>FACILITY</i> PARA OS SÁBADOS [135].	340
FIGURA 142 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO 12/5 <i>FACILITY</i> PARA OS DOMINGOS [135].	340
FIGURA 143 – PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO K-12 <i>SCHOOL</i> PARA DIAS ÚTEIS [135].	341
FIGURA 144 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO K-12 <i>SCHOOL</i> PARA OS SÁBADOS [135].	341
FIGURA 145 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO K-12 <i>SCHOOL</i> PARA OS DOMINGOS [135].	342
FIGURA 146 – PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DA ESCOLA ANUAL PARA DIAS ÚTEIS [135].	342
FIGURA 147 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DA ESCOLA ANUAL PARA OS SÁBADOS [135].	342
FIGURA 148 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DA ESCOLA ANUAL PARA OS DOMINGOS [135].	343
FIGURA 149 – PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DO TEATRO/ARTES CÊNICAS PARA DIAS ÚTEIS [135].	343
FIGURA 150 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DO TEATRO/ARTES CÊNICAS PARA OS SÁBADOS [135].	343
FIGURA 151 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DO TEATRO/ARTES CÊNICAS PARA OS DOMINGOS [135].	344
FIGURA 152 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DA IGREJA PARA DIAS ÚTEIS [135].	344
FIGURA 153 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DA IGREJA PARA OS SÁBADOS [135].	345
FIGURA 154 - PERFIL DE DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DA IGREJA PARA OS DOMINGOS[135].	345
FIGURA 155 – ESCALA DA TEMPERATURA DE COR [144].	347
FIGURA 156 – REPRESENTAÇÃO DE UMA CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA E SEUS PLANOS [145].	348
FIGURA 157 – JANELA DA CONFIGURAÇÃO DO SOL DO REVIT®.	355
FIGURA 158 - CONFIGURAÇÃO DA ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO SOLSTÍCIO DE VERÃO.	356
FIGURA 159 - CONFIGURAÇÃO DA ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO SOLSTÍCIO DE INVERNO.	356

FIGURA 160 - CONFIGURAÇÃO DA ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO EQUINÓCIO DE PRIMAVERA.	357
FIGURA 161 - CONFIGURAÇÃO DA ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR ACUMULADA NO EQUINÓCIO DE OUTONO.	357

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - <i>SOFTWARES</i> DE SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS CREDENCIADOS PELA NORMA ASHRAE 140 – 2004 [73, P. 21].	63
TABELA 2 – SISTEMAS DE SOMBREAMENTO PRIMÁRIO USANDO CLARABOIA DIFUSA [104, P. 78].	84
TABELA 3 - SISTEMAS DE SOMBREAMENTO PRIMÁRIO USANDO LUZ SOLAR DIRETA [104, P. 79].	85
TABELA 4 - SISTEMAS DE GUIA DE LUZ DIFUSA [104, P. 80].	89
TABELA 5 - SISTEMA QUE GUIAM LUZ DIRETA [104, P. 81].	91
TABELA 6 - SISTEMAS DE DISPERSÃO DE LUZ [104, P. 81].	93
TABELA 7 – SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ [104, P. 82].	93
TABELA 8 – COMPONENTES DO TUBO SOLAR FABRICADO PELA CHATRON®.	97
TABELA 9 - MODELOS DE TUBO SOLARES DA CHATRON® E SUAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS [105, P. 5].	99
TABELA 10 – MODELOS DE TUBO SOLAR DA VELUX® E SUAS ESPECIFICAÇÕES PARA TELHADOS PLANOS [109].	100
TABELA 11 - MODELOS DE TUBO SOLAR DA VELUX® E SUAS ESPECIFICAÇÕES PARA TELHADOS INCLINADOS [110].	101
TABELA 12 – ACESSÓRIOS PARA O TÚNEL DE LUZ VELUX® [111].	102
TABELA 13 - COMPARAÇÃO ENTRE JANELA, CLARABOIA E O SOLATUBE 750DS EM RELAÇÃO A PROPORÇÃO ENTRE TRANSMISSÃO DE LUZ VISÍVEL E COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA [116, P. 7].	110
TABELA 14 – COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS TUBOS SOLARES DA SOLATUBE® [113, P. 13], [117].	110
TABELA 15 - ACESSÓRIOS PARA O TÚNEL DE LUZ SOLATUBE® [113, P. 13].	111
TABELA 16 – DADOS CLIMÁTICOS REFERENTES A ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO PARA O MÉDIO TEJO [51, P. 4].	116
TABELA 17 – DADOS CLIMÁTICOS REFERENTES A ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO PARA O MÉDIO TEJO [51, P. 5].	116
TABELA 18 – AMBIENTES DO SUPERMERCADO PRESENTES NO NÍVEL 0, COM SEUS RESPECTIVOS VALORES DE ÁREA INTERNA.	117
TABELA 19 - AMBIENTES DO SUPERMERCADO PRESENTES NO NÍVEL 1, COM SEUS RESPECTIVOS VALORES DE ÁREA INTERNA.	118
TABELA 20 – ENVOLVENTES OPACAS EXTERIORES DO SUPERMERCADO.	120
TABELA 21 - ENVOLVENTES OPACAS INTERIORES DO SUPERMERCADO.	122
TABELA 22 - MODELOS DOS VENTILADORES DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO.	128
TABELA 23 - DESCRIÇÃO DAS LUMINÁRIAS PRESENTES NO EDIFÍCIO.	129
TABELA 24 - POTÊNCIA DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DO NÍVEL 0.	130
TABELA 25 - POTÊNCIA DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DO NÍVEL 1.	131
TABELA 26 - NÚMERO DE OCUPANTES POR AMBIENTE E SEUS RESPECTIVOS GANHOS DE CALOR SENSÍVEL E LATENTE.	149
TABELA 27 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NA ZONA DE VENDAS.	153
TABELA 28 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NA SALA DO CHEFE.	153

TABELA 29 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NA SALA DE CCTV. ....	154
TABELA 30 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NO ESCRITÓRIO. ....	154
TABELA 31 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NA SALA DE APRENDIZAGEM. ....	154
TABELA 32 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NO ARMAZÉM I. ....	154
TABELA 33 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NA ZONA DE PREPARAÇÃO.....	155
TABELA 34 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NO ARMAZÉM II. ....	155
TABELA 35 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NA SALA IT. ....	155
TABELA 36 - EQUIPAMENTOS PRESENTES NA SALA DE QUADROS. ....	155
TABELA 37 - PERCENTAGEM DO DESVIO DOS CUSTOS OBTIDOS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA EM RELAÇÃO AO CERTIFICADO ENERGÉTICO. ....	159
TABELA 38 – COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ENTRE OS SETORES CONSUMIDORES DA SIMULAÇÃO DINÂMICA E DO CERTIFICADO ENERGÉTICO DO SUPERMERCADO.....	160
TABELA 39 – ILUMINÂNCIA DO NÍVEL 0 NO EQUINÓCIO DE OUTONO OBTIDO PELA LEED V4QC7 OPT 2. .....	175
TABELA 40 - ILUMINÂNCIA DO NÍVEL 1 NO EQUINÓCIO DE OUTONO OBTIDO PELA LEED V4QC7 OPT 2. .....	176
TABELA 41 - COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA REAL E MÁXIMO ADMISSÍVEL. ....	182
TABELA 42 - COMPARAÇÃO ENTRE A CARGA MENSAL DE AQUECIMENTO COM VALORES DE U REAIS E COM $U = 0,70 \text{ W/M}^2\text{°C}$ .....	183
TABELA 43 - COMPARAÇÃO ENTRE A CARGA MENSAL DE ARREFECIMENTO COM VALORES DE U REAIS E COM $U = 0,70 \text{ W/M}^2\text{°C}$ .....	184
TABELA 44 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO ANUAL DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA SIMULAÇÃO COM VALOR DE $U = 0,70 \text{ W/M}^2\text{°C}$ . ....	185
TABELA 45 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM REVIT® E O TRACE® 700 COM O AUMENTO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA.....	186
TABELA 46 – CARACTERÍSTICAS DOS VIDROS <i>LOW-E TRIPLE GLAZING SC=0.2</i> E <i>SINGLE GLAZING SC=0.5</i> . .....	187
TABELA 47 - COMPARAÇÃO ENTRE A CARGA MENSAL DE AQUECIMENTO EM CONDIÇÕES REAIS E A MEDIDA 1 – <i>SINGLE GLAZING SC=0.5</i> . ....	187
TABELA 48 - COMPARAÇÃO ENTRE A CARGA MENSAL DE ARREFECIMENTO DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA MEDIDA 1 – <i>SINGLE GLAZING SC=0.5</i> .....	188
TABELA 49 – COMPARAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO ANUAL DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A MEDIDA 1 – <i>SINGLE GLAZING SC=0.5</i> . ....	189
TABELA 50 - CARACTERÍSTICAS DOS VIDROS <i>LOW-E TRIPLE GLAZING SC=0.2</i> E <i>LARGE DOUBLE-GLAZED WINDOWS - REFLECTIVE COATING</i> . ....	190
TABELA 51 - COMPARAÇÃO ENTRE A CARGA MENSAL DE AQUECIMENTO DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA MEDIDA 2 - <i>LARGE DOUBLE-GLAZED WINDOWS - REFLECTIVE COATING</i> . .....	191
TABELA 52 - COMPARAÇÃO ENTRE A CARGA MENSAL DE ARREFECIMENTO DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA MEDIDA 2 - <i>LARGE DOUBLE-GLAZED WINDOWS - REFLECTIVE COATING</i> . .....	192

TABELA 53 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO ANUAL DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A MEDIDA 2 - <i>LARGE DOUBLE-GLAZED WINDOWS - REFLECTIVE COATING</i> . . . . .	193
TABELA 54 - CARACTERÍSTICAS DOS VIDROS <i>LOW-E TRIPLE GLAZING SC=0.2 E REFLECTIVE DOUBLE GLAZING - 1/4 IN THICK - 20% TITANIUM ON CLEAR GLASS</i> . . . . .	194
TABELA 55 - COMPARAÇÃO ENTRE A CARGA MENSAL DE AQUECIMENTO DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA MEDIDA 3 - <i>REFLECTIVE DOUBLE GLAZING - 1/4 IN THICK - 20% TITANIUM ON CLEAR GLASS</i> . . . . .	195
TABELA 56 - COMPARAÇÃO ENTRE A CARGA MENSAL DE ARREFECIMENTO DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA MEDIDA 3 - <i>REFLECTIVE DOUBLE GLAZING - 1/4 IN THICK - 20% TITANIUM ON CLEAR GLASS</i> . . . . .	196
TABELA 57 - COMPARAÇÃO DO CONSUMO ELÉTRICO ANUAL DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A MEDIDA 3 - <i>REFLECTIVE DOUBLE GLAZING - 1/4 IN THICK - 20% TITANIUM ON CLEAR GLASS</i> . . . . .	197
TABELA 58 - PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS ENVIDRAÇADOS PROPOSTOS NA MELHORIA DA FACHADA. . . . .	198
TABELA 59 – CONSUMOS E CUSTOS ELÉTRICOS ANUAIS DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO. . . . .	199
TABELA 60 – INCIDÊNCIA DE LUZ SOLAR NA ZONA DE VENDAS NO DIA 1 DE AGOSTO. . . . .	204
TABELA 61 - IMAGENS RENDERIZADAS DA ZONA DE VENDAS ANTES E DEPOIS DA APLICAÇÃO DAS <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS ÀS 15H NO DIA 1 DE AGOSTO. . . . .	210
TABELA 62 - IMAGENS RENDERIZADAS DA ZONA DE VENDAS ANTES E DEPOIS DA APLICAÇÃO DAS <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS ÀS 18H NO DIA 1 DE AGOSTO. . . . .	211
TABELA 63 - CONSUMOS E CUSTOS ANUAIS DE ELETRICIDADE DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS CONSIDERANDO “VOLUMES CONCEPTUAIS E ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO” E COM AS <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS. . . . .	212
TABELA 64 - IMAGENS RENDERIZADAS DA ZONA DE VENDAS ANTES E DEPOIS DA APLICAÇÃO DAS <i>BRISE-SOLEILS</i> VERTICAIS ÀS 15H NO DIA 1 DE AGOSTO. . . . .	216
TABELA 65 - IMAGENS RENDERIZADAS DA ZONA DE VENDAS ANTES E DEPOIS DA APLICAÇÃO DAS <i>BRISE-SOLEILS</i> VERTICAIS ÀS 18H NO DIA 1 DE AGOSTO. . . . .	217
TABELA 66 - CONSUMOS E CUSTOS ANUAIS DE ELETRICIDADE DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS CONSIDERANDO “VOLUMES CONCEPTUAIS E ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO” E COM AS <i>BRISE-SOLEILS</i> VERTICAIS. . . . .	218
TABELA 67 – COMPARAÇÃO ENTRE AS <i>BRISE-SOLEILS</i> HORIZONTAIS E VERTICAIS. . . . .	219
TABELA 68 - VALORES DE TEMPERATURA DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO PROPOSTOS PARA OS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO. . . . .	220
TABELA 69 – COMPARAÇÃO ENTRE A SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A SIMULAÇÃO DA MEDIDA 1 REFERENTE A MUDANÇA DA TEMPERATURA DE AQUECIMENTO SOMENTE NA ZONA DE VENDAS . . . . .	221
TABELA 70 - COMPARAÇÃO ENTRE A SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A SIMULAÇÃO DA MEDIDA 2 REFERENTE A MUDANÇA DA TEMPERATURA DE AQUECIMENTO IGUAL A 18°C PARA TODOS OS AMBIENTES DO SUPERMERCADO . . . . .	222
TABELA 71 - COMPARAÇÃO ENTRE A SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A SIMULAÇÃO DA MEDIDA 3 REFERENTE A MUDANÇA DAS TEMPERATURAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO. . . . .	223

TABELA 72 - COMPARAÇÃO ENTRE A SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A SIMULAÇÃO DA MEDIDA 4 REFERENTE A MUDANÇA DAS TEMPERATURAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO.....	225
TABELA 73 - COMPARAÇÃO ENTRE A SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A SIMULAÇÃO DA MEDIDA 5 REFERENTE A MUDANÇA DAS TEMPERATURAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO.....	226
TABELA 74 - COMPARAÇÃO ENTRE A SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A SIMULAÇÃO DA MEDIDA 6 REFERENTE A MUDANÇA DAS TEMPERATURAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO.....	227
TABELA 75 - COMPARAÇÃO ENTRE A SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E A SIMULAÇÃO DA MEDIDA 7 REFERENTE A MUDANÇA DAS TEMPERATURAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO.....	228
TABELA 76 - COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES EM CONDIÇÕES REAIS E A DA MEDIDA 8 REFERENTE AS MUDANÇAS DAS TEMPERATURAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO IGUAIS A 22,5°C. ..	230
TABELA 77 - COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS ANUAIS DE ENERGIA DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E MEDIDAS PROPOSTAS. ....	231
TABELA 78 - NOVOS VALORES DA POTÊNCIA DA ILUMINAÇÃO ELÉTRICA COM SENSORES DE PRESENÇA. ....	235
TABELA 79 – CONSUMO ELÉTRICO ANUAL DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA APLICAÇÃO DE SENSORES DE PRESENÇA. ....	236
TABELA 80 - CRITÉRIO DA DISTÂNCIA ENTRE OS TUBOS SOLARES DA SOLATUBE® [117]. ....	241
TABELA 81 – CONSUMOS E CUSTOS ANUAIS DE ELETRICIDADE DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA MEDIDA 1 – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM POTÊNCIA IGUAL A 50% DO VALOR NOMINAL. ....	252
TABELA 82 - CUSTO ANUAL COM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA ZONA DE VENDAS EM CONDIÇÕES REAIS. ....	253
TABELA 83 - CUSTO ANUAL COM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA ZONA DE VENDAS DA MEDIA 1. ....	254
TABELA 84 - CONSUMOS E CUSTOS ANUAIS DE ELETRICIDADE DA SIMULAÇÃO EM CONDIÇÕES REAIS E DA MEDIDA 2 – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM POTÊNCIA IGUAL A 25% DO VALOR NOMINAL. ....	256
TABELA 85 – COMPARAÇÃO ENTRE AS MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DA ZONA DE VENDAS. ....	257
TABELA 86 - COMPARAÇÃO DOS CONSUMOS ELÉTRICOS EM RELAÇÃO AOS TIPOS DE SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO PRESENTE NO REVIT®. ....	259
TABELA 87 – VARIAÇÃO DOS CUSTOS ENERGÉTICOS ENTRE OS TIPOS DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DO REVIT®. ....	263
TABELA 88 - REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DO SUPERMERCADO ATRAVÉS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	271
TABELA 89 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE ENERGIA FOTOVOLTAICA SIMULADAS PELO REVIT® E SCE.ER. ....	272
TABELA 90 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REVIT® (OPINIÃO DO AUTOR). ....	275
TABELA 91 – MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EFICAZES EM ORDEM DE POUPANÇA ENERGÉTICA. ....	277
TABELA 92 - MEDIDAS EFICAZES COM TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO (PAYBACK). ....	278
TABELA 93 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: TIPO 1 – PE SUDESTE.....	295
TABELA 94 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: TIPO 2 – PE NORDESTE. ....	296
TABELA 95 - PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: TIPO 3 – PE NOROESTE – CAIS NOTURNO. ....	297
TABELA 96 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: TIPO 4 – PE NORDESTE – ZONA DE VENDAS. ....	298
TABELA 97 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: TIPO 5 – FACHADA ENVIDRAÇADA. ....	298



TABELA 98 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: TIPO 6 – PE SUDESTE MACIÇA. ....	299
TABELA 99 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: TIPO 7 – PE SUDOESTE – CAIS NOTURNO. ....	300
TABELA 100 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA. ....	300
TABELA 101 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 1 – PAREDE INTERIOR 0,1 M. ....	302
TABELA 102 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 2 – PAREDE INTERIOR 0,15 M. ....	302
TABELA 103 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 3 – PAREDE INTERIOR 0,18 M. ....	303
TABELA 104 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 4 – PAREDE INTERIOR 0,20 M. ....	303
TABELA 105 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 5 – PAREDE INTERIOR 0,25 M. ....	303
TABELA 106 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 6 - PAREDE INTERIOR 0,30 M. ....	304
TABELA 107 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 7 – PAREDE INTERIOR 0,37 M. ....	304
TABELA 108 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 8 – PAREDE INTERNA 0,38 M. ....	305
TABELA 109 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 9 – PAREDE INTERIOR 0,40 M. ....	305
TABELA 110 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 10 – PAREDE INTERIOR 0,405 M. ....	306
TABELA 111 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 11 – PAREDE INTERIOR 0,41 M. ....	306
TABELA 112 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE: PI 12 – PAREDE INTERIOR 0,445 M. ....	307
TABELA 113 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS TIPOS DE VIDROS PADRONIZADOS PRESENTES NO REVIT®. .....	310
TABELA 114 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS TIPOS DE PORTAS PADRONIZADOS PRESENTES NO REVIT®. .....	317



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>37</b>
<b>1.1</b>	<b>CENÁRIO ENERGÉTICO DE PORTUGAL</b>	<b>40</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>43</b>
1.2.1	Objetivos complementares	44
<b>1.3</b>	<b>EMPRESA - ENESCOORD</b>	<b>45</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>49</b>
<b>2.1</b>	<b>HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA EUROPEIA E PORTUGUESA</b>	<b>49</b>
2.1.1	Legislação atual de Portugal	54
<b>2.2</b>	<b>SIMULAÇÃO DINÂMICA DE EDIFÍCIOS</b>	<b>60</b>
<b>2.3</b>	<b>METODOLOGIA BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)</b>	<b>64</b>
<b>2.4</b>	<b>SOFTWARE BIM - REVIT®</b>	<b>69</b>
<b>2.5</b>	<b>GREEN BUILDING STUDIO®</b>	<b>74</b>
<b>2.6</b>	<b>ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS</b>	<b>75</b>
<b>2.7</b>	<b>ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE ILUMINAÇÃO NATURAL - DAYLIGHTING</b>	<b>80</b>
<b>2.8</b>	<b>SISTEMAS DE CONTROLO DA ILUMINAÇÃO NATURAL - DAYLIGHTING</b>	<b>83</b>
2.8.1	Sistemas de sombreamento	83
2.8.2	Sistemas ópticos	88
2.8.3	Tubos solares	95
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>115</b>
<b>3.1</b>	<b>LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO SUPERMERCADO</b>	<b>115</b>
<b>3.2</b>	<b>ZONA CLIMÁTICA</b>	<b>116</b>
<b>3.3</b>	<b>AMBIENTES DO SUPERMERCADO</b>	<b>116</b>
<b>3.4</b>	<b>PROPRIEDADES TÉRMICAS DO EDIFÍCIO</b>	<b>118</b>
3.4.1	Envoltentes opacas externas do supermercado	119
3.4.2	Envoltentes opacas internas do supermercado	120
3.4.3	Claraboias	122

<b>3.5</b>	<b>SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO .....</b>	<b>123</b>
<b>3.6</b>	<b>SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO .....</b>	<b>128</b>
<b>3.7</b>	<b>SISTEMA DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA.....</b>	<b>132</b>
<b>3.8</b>	<b>CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA DO REVIT® .....</b>	<b>133</b>
3.8.1	Fluxo de trabalho .....	140
3.8.2	Modelo tridimensional.....	142
3.8.3	Análise energética em condições reais .....	146
3.8.4	Dados climáticos e localização .....	147
3.8.5	Diagramas de ocupação, iluminação e equipamentos elétricos.....	148
3.8.6	Sistema de climatização e ventilação.....	151
3.8.7	Sistema de água quente sanitária .....	152
3.8.8	Equipamentos elétricos presentes no supermercado .....	153
<b>3.9</b>	<b>SIMULAÇÃO DINÂMICA DO SUPERMERCADO EM CONDIÇÕES REAIS .....</b>	<b>156</b>
<b>3.10</b>	<b>INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA EM CONDIÇÕES REAIS.....</b>	<b>161</b>
3.10.1	Possíveis medidas de otimização energética para os setores consumidores .....	166
<b>3.11</b>	<b>ANÁLISE SOLAR .....</b>	<b>168</b>
3.11.1	Análise da radiação solar acumulada sobre o supermercado.....	168
3.11.2	Análise da quantidade de luz natural no interior do supermercado .....	174
3.11.3	Pontos importantes dos resultados da análise solar .....	179
<b>3.12</b>	<b>MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA.....</b>	<b>181</b>
3.12.1	Alteração do coeficiente de transmissão térmica das envolventes opacas.....	181
3.12.2	Substituição dos elementos envidraçados na fachada voltada à direção sudoeste .....	186
3.12.3	Instalação de lamelas ou <i>brise-soleils</i> na fachada envidraçada voltada à direção sudoeste .....	200
3.12.4	Alteração das temperaturas de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização ( <i>setpoint</i> ) .....	219
3.12.5	Melhorias no sistema de iluminação .....	233
3.12.6	Alteração dos sistemas de climatização disponíveis no Revit® .....	258
3.12.7	Análise do potencial de produção de energia elétrica fotovoltaica.....	263
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>275</b>
<b>4.1</b>	<b>VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REVIT® .....</b>	<b>275</b>
<b>4.2</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>276</b>
<b>4.3</b>	<b>PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>279</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO .....</b>	<b>283</b>

<b>6</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>295</b>
<b>6.1</b>	<b>ANEXO 1</b>	<b>295</b>
6.1.1	Envolventes opacas externas do supermercado	295
<b>6.2</b>	<b>ANEXO 2</b>	<b>302</b>
6.2.1	Envolventes opacas internas do supermercado	302
<b>6.3</b>	<b>ANEXO 3</b>	<b>308</b>
6.3.1	Dados de condutibilidade, resistência térmica e coeficiente de transmissão de térmica	308
<b>6.4</b>	<b>ANEXO 4</b>	<b>310</b>
6.4.1	Tipos de Vidros Revit®	310
<b>6.5</b>	<b>ANEXO 5</b>	<b>317</b>
6.5.1	Valores analíticos para os elementos do tipo porta	317
<b>6.6</b>	<b>ANEXO 6</b>	<b>318</b>
6.6.1	Certificado energético do supermercado	318
<b>6.7</b>	<b>ANEXO 7</b>	<b>327</b>
6.7.1	Relatório da simulação de energia gerado pelo Revit® em condições reais	327
<b>6.8</b>	<b>ANEXO 8</b>	<b>334</b>
6.8.1	Tabelas de operação do edifício padronizadas presentes no Revit®	334
<b>6.9</b>	<b>ANEXO 9</b>	<b>346</b>
6.9.1	Conceitos fotométricos relevantes utilizados nos estudos luminotécnicos	346
<b>6.10</b>	<b>ANEXO 10</b>	<b>349</b>
6.10.1	Tipos de sistemas de climatização do Revit®	349
<b>6.11</b>	<b>ANEXO 11</b>	<b>354</b>
6.11.1	Períodos e tempo da Análise Solar utilizando o Insight 360	354
<b>6.12</b>	<b>ANEXO 12</b>	<b>356</b>
6.12.1	Resultados da análise da radiação solar acumulada	356
<b>6.13</b>	<b>ANEXO 13</b>	<b>358</b>
6.13.1	Análise da luz natural no Revit®	358



# INTRODUÇÃO

## 1.1 CENÁRIO ENERGÉTICO DE PORTUGAL

### 1.2 OBJETIVO

#### 1.2.1 Objetivos complementares

### 1.3 EMPRESA - ENESCOORD





# 1 INTRODUÇÃO

Todos os seres vivos dependem de alguma fonte de energia para sobreviverem, e os seres humanos são os que possuem a maior necessidade energética atualmente. Nos primórdios da humanidade, os seres humanos dominaram o fogo e passaram a utilizá-lo para cozinhar os seus alimentos, para iluminação e aquecimento, depois o ser humano conseguiu armazenar a sua alimentação (energia excedente), através da domesticação dos animais, e da agricultura, o que permitiu o aumento da população e de tempo para o desenvolvimento de outras atividades.

Assim, permitindo o desenvolvimento das ciências exatas, como a matemática, geometria e engenharia, desse modo o homem começou a criar dispositivos mecânicos, alguns foram empregados para converter a energia contida nos ventos, e posteriormente com máquinas mais complexas, o vapor. A utilização das máquinas a vapor com outros avanços tecnológicos caracterizou a mudança de uma produção artesanal para uma produção com máquinas, esse período foi denominado a Primeira Revolução Industrial, e o carvão mineral foi a principal fonte de energia utilizada em grande escala, através da energia liberada da sua queima, sendo assim o primeiro combustível fóssil consumido em grande quantidade. Depois, houve o surgimento dos primeiros automóveis, e dos motores a combustão interna, com isso o carvão mineral começou a perder espaço para o petróleo, além do grande avanço na utilização da energia elétrica para diversas aplicações [1, p. 8].

Devido ao crescimento populacional, a melhoria na qualidade de vida, e o aumento do consumo de produtos industrializados, causaram uma grande dependência energética em relação aos combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo e o gás natural, para manter o padrão de vida conquistado pela sociedade. Portanto, junto com o grande consumo de combustíveis fósseis surgiram os problemas ligados as grandes quantidades de emissão de dióxido de carbono entre outros gases na atmosfera terrestre, como o aquecimento global que aumenta o degelo glacial, elevando o nível do mar, alterações no ciclo hidrológico e de precipitação, e outras alterações climáticas. Entretanto, o grande consumo dos combustíveis fósseis não causou apenas problemas ambientais, mas também económicos, pois os países que possuem grande dependência energética destes combustíveis, como Portugal, gastam milhões de euros importando estes recursos energéticos e ficam vulneráveis a variação do preço do petróleo, com isso diminuindo a sua competitividade económica, e a sua segurança de abastecimento energético [2, p. 1].

Atenta a esta problemática, a União Europeia preocupada com a segurança do abastecimento energético dos países membros, e dos problemas causados pelo grande consumo dos combustíveis fósseis, através da Comissão Europeia realizou um estudo chamado *“UE energy trends and macroeconomic performance: Case study – Energy Resilience and Vulnerability in the EU and Other Global Regions”* [3], o qual levantou indicadores fundamentais como intensidade energética, dependência das importações

de energia, a percentagem dos custos de produção nos setores intensivos em energia, o desempenho das exportações de setores intensivos de energia, despesas de combustível no consumo total das famílias, e forneceu comparações com outros países como Brasil, China, Índia, Japão, Rússia e EUA (Estados Unidos da América).

O estudo revelou que apesar dos avanços e investimentos em novas fontes de energia realizados nos últimos anos, a União Europeia (UE) ainda possui uma dependência energética crescente, como ilustra a Figura 1 entre o período de 1990 a 2015. A dependência energética é definida sendo a razão entre a energia total importada pela energia total consumida.

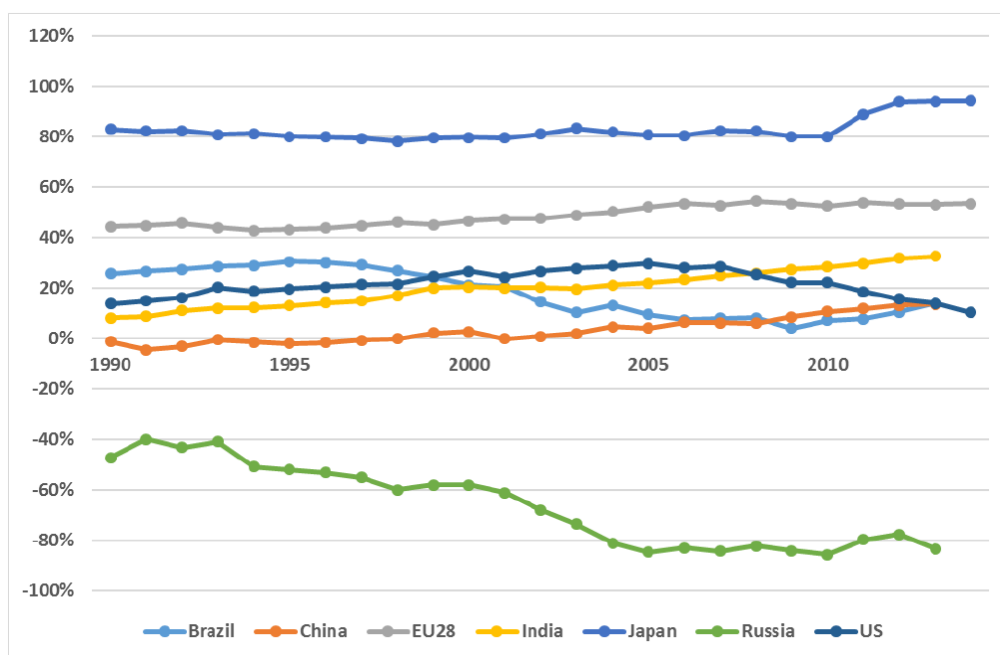


Figura 1 – Comparação da dependência energética entre a União Europeia, Brasil, China, Índia, Japão, Rússia, EUA, sendo que o eixo na vertical representa a dependência energética, e o eixo na horizontal, o tempo em anos [3].

Analisando o gráfico na Figura 1, é possível concluir que o Japão é o país com a maior dependência energética, em segundo lugar a UE, com uma dependência energética em 2015 de 54,1%. Em relação a Rússia, a situação é diferente, pois ela possui uma dependência energética negativa, ou seja, a Rússia possui um excedente energético, assim confirmando o cenário dela ser um grande fornecedor de petróleo e gás natural para UE. O Brasil durante o período estudado teve uma queda na dependência energética, apesar que a partir de 2009 o valor começou a subir novamente, mas não alcançando os valores da década de 90.

Segundo o *site* da Comissão Europeia [4], a dependência energética da UE possui um faturamento de 1 bilhão de euros por dia, assim a energia total importada é mais que um quinto das importações da UE, sendo que a Rússia é a principal fornecedora de petróleo e gás natural para os países europeus, e alguns casos a única. Essa dependência energética torna a UE vulnerável ao fornecimento energético em relação à importação e ao preço, como aconteceu nos anos de 2006 e 2009 em que alguns

cidadãos de alguns Estados-Membros da Europa de Leste sofreram por interrupções temporárias no fornecimento do gás [5].

Neste contexto, para diminuir a vulnerabilidade do abastecimento energético, a UE adotou uma política energética que busca atingir os seguintes pontos: garantir a segurança do aprovisionamento (segurança do fornecimento energético, ou seja, garantir que não haja interrupções não programadas ou a falta de energia); manter os preços de energia competitivos, visando um fornecimento energético seguro e abundante para todos os países membros; proteger o ambiente, com foco contra as mudanças climáticas; desenvolver as redes energéticas, aumentando as interconexões entre os países membros da UE; e apesar que cada Estado-Membro possua a liberdade de investir e desenvolver a(s) fonte(s) de energia que considerar melhor(es), todos devem seguir com os objetivos estabelecido pela UE em relação as energias renováveis [6].

Neste âmbito, a UE estabeleceu metas para as próximas décadas que visam diminuir a dependência energética e garantir um crescimento sustentável, económico e competitivo sem prejudicar o meio-ambiente e a sociedade. Permitindo, também, o ir ao encontro do estabelecido no Protocolo de Quioto, o qual é o primeiro e único tratado jurídico internacional que descreve de maneira clara o objetivo de limitar por quantificação as emissões de gases de efeito estufa dos países desenvolvidos [7].

A Diretiva 2012/27/UE [8] do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, estabeleceu para os Estados Membros da UE um roteiro com metas definidas para que até ao ano de 2050 se atinja uma economia competitiva de baixo carbono. Assim, as metas foram definidas para os anos de 2020 e 2050, as quais são apresentadas a seguir:

- **Metas para 2020:**

- Redução mínima de 20% das emissões dos gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990;
- 20% da energia obtida a partir de fontes renováveis;
- 20% de melhoria da eficiência energética;
- 15% de interligação elétrica (ou seja, 15% da eletricidade produzida na UE pode ser transferida entre os países do bloco).

- **Metas para 2050:**

- 80-95% de diminuição das emissões de gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990.

Em 2014, para fortalecer os objetivos entre clima e energia relacionadas com as metas de 2020, os líderes europeus traçaram novos objetivos para 2030, que se referem a reduções dos gases do efeito estufa, aumento da utilização de fontes de energia renováveis e eficiência energética, os quais estão descritos na publicação da Comissão Europeia de 22/01/2014 [9], e estão listados a seguir:

- **Objetivos para 2030:**
  - 40% de redução das emissões de gases de efeito estufa;
  - No mínimo 27% da energia da UE, seja obtida através de fontes renováveis;
  - 25% de poupança energética;
  - Meta para interligações entre os países da união em 15%.

Segundo o *site* da União Europeia [10], alguns dos objetivos estabelecidos já estão próximos de serem cumpridos, como:

- A diminuição dos gases do efeito estufa em 18% entre os anos de 1990 e 2012;
- O aumento da utilização de fontes de energias renováveis que passaram de 8,5% em 2005 para 14,1% em 2012;
- E estima-se uma melhoria na eficiência energética entre 18% a 19%, assim próximo do objetivo de 20% das metas de 2020.

Além das metas estabelecidas pela UE, alguns países definiram metas mais ambiciosas, como Portugal, sendo uns dos assuntos abordados na secção a seguir.

## 1.1 CENÁRIO ENERGÉTICO DE PORTUGAL

Portugal possui uma grande dependência energética devido à escassez em fontes de origem fóssil, assim o governo português estabeleceu metas de redução no consumo energético através de medidas de racionalização e otimização de energia, além de investimentos em fontes de energia renováveis, principalmente a eólica e hídrica, as quais representaram 21,7% e 18,3% respectivamente do total de energia elétrica produzida em 2015 [11]. Entretanto, apesar do esforço do governo português, a dependência energética de Portugal ainda é maior que a média da UE, considerando o

intervalo de tempo de 1990 a 2015, como mostram os dados do *site* Eurostat [12], representados pelo gráfico da Figura 2.

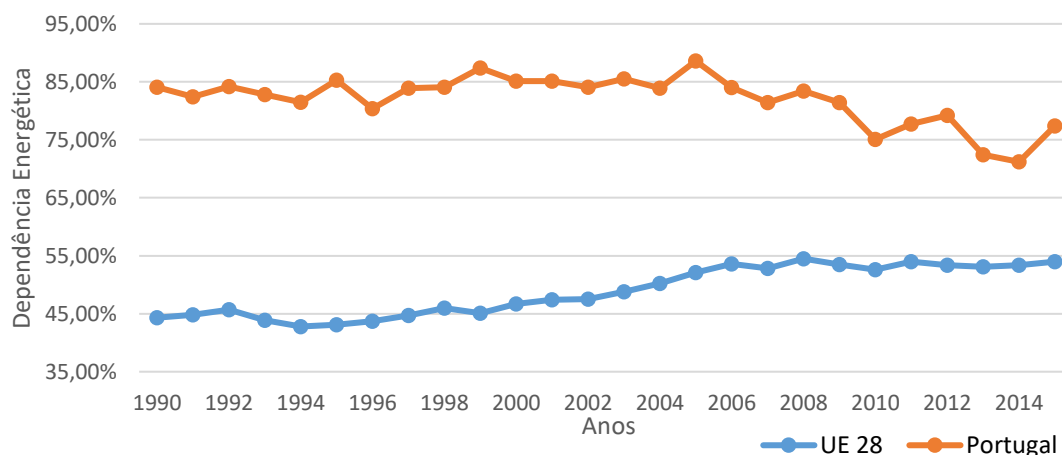


Figura 2 - Dependência energética de Portugal e da União Europeia entre os anos de 1990 a 2015 [12].

Ainda na Figura 2, é possível observar que nos últimos anos Portugal está conseguindo diminuir a sua dependência energética, em contracorrente com a UE que possui uma tendência de crescimento na dependência energética.

Para Portugal cumprir com a Diretiva n.º 2012/27/UE, foi aprovado o Decreto-Lei n.º 68-A/2015 de 30 de abril, o qual transpõe a diretiva para a legislação portuguesa, apesar de no Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética (PNAEE), referente ao período de 2013 a 2016, já conter ações e metas para 2016 que visavam alcançar as metas de 2020 [13].

O PNAEE foi criado através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de abril, com objetivo de alcançar os compromissos assumidos por Portugal para o aumento da eficiência energética, reduzir as emissões de gases do efeito estufa, aumentar a segurança do aprovisionamento, aumentar a eficiência energética do Estado, diminuindo, assim, as despesas e utilizando de maneira mais eficiente os recursos energéticos, além de aumentar a competitividade da economia, por meio da redução dos consumos e custos energéticos, das empresas e residenciais, libertando recursos que podem ser aplicados em investimentos diversos. As metas que compõem o PNAEE abrangem as áreas de transportes, residencial e serviços, industrial, Estado, Comportamentos e Agricultura [14].

Para facilitar o entendimento sobre as metas que Portugal se comprometeu a cumprir, elas foram representadas na Figura 3, obtida do trabalho realizado por C.R. de Abreu[15], as quais se dividem em três níveis de abrangência entre UE, Portugal e Governo português. As metas do nível mais alto, são as estabelecidas pela Diretiva 2012/27/UE para todos os países membros da UE, as quais já foram comentadas anteriormente, mas resumidamente são as metas de redução de 20% da emissão dos gases do efeito estufa, redução em 20% no consumo de energia através da eficiência

energética e a redução de 20% na utilização de **Fontes de Energia Renováveis (FER)**. O segundo nível, são as metas aplicáveis somente a Portugal, mas respeitando os valores mínimos da Diretiva 2012/27/UE, as metas são a redução de 27% da emissão de gás carbónico (CO<sub>2</sub>) referente ao valor de emissão total no ano de 2010, aumento de 31% na utilização de FER no consumo final bruto de energia, utilização de 10% de FER nos setores de transportes, setor o qual foi excluído da Diretiva 2012/27/UE e Portugal adicionou no seu PNAEE, e redução em 20% no consumo de energia primária.

O terceiro e último nível abrange as metas que devem ser aplicadas nas Instituições do Estado, as quais são a redução de 27% da emissão de gás carbónico (CO<sub>2</sub>), tendo como referência o valor total de emissão de 2010, aumento de 31% na utilização de FER no consumo final bruto de energia, aumento de 10% de FER no consumo energético total consumidos pelos transportes, redução de 25% do consumo de energia primária, e redução de 30% do consumo do Estado português [14].

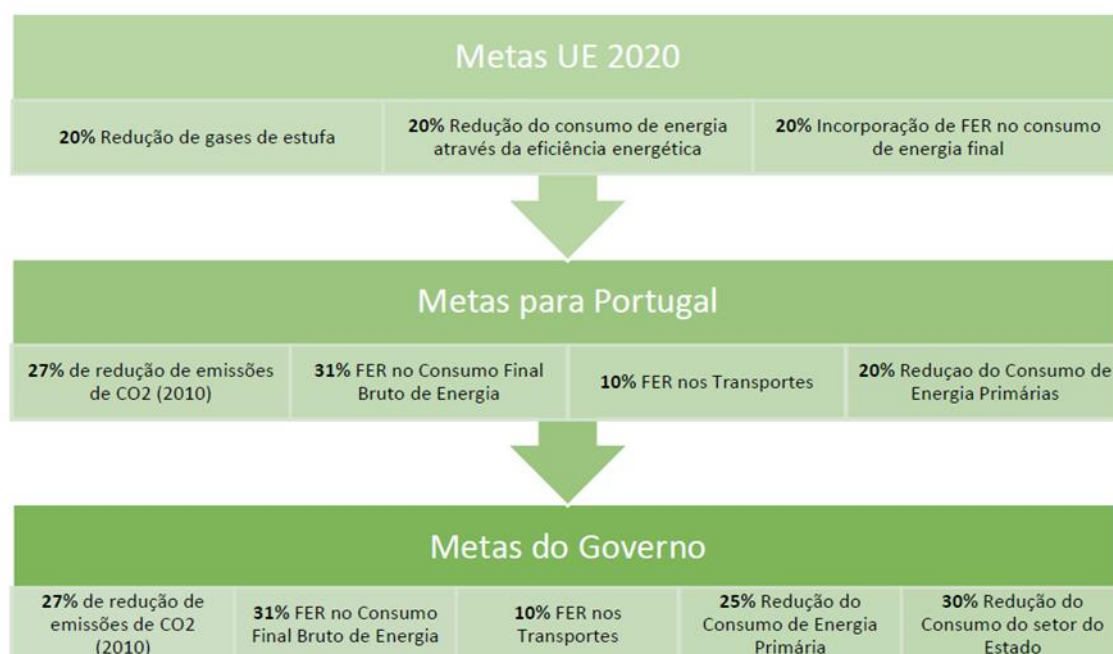


Figura 3 - Metas europeias e portuguesas para setores consumidores de energia específicos [15].

Para melhor entender os impactos causados pelas metas para 2020 e determinadas por Portugal, a Figura 4 representa o consumo de energia final por setor de consumo em Portugal. Os consumidores de energia final são classificados em: transporte, indústria, agregado doméstico, pesca, agricultura e serviços, sendo que a energia final é definida como a energia fornecida aos consumidores finais para todas as utilizações da energia; o consumo da indústria é referente aos consumos de todos os setores industriais, com a exclusão do setor energético, assim não são considerados no consumo total as quantidades de combustível transformadas nas centrais elétricas de autoprodutores industriais e as quantidades de coque transformadas em gás de alto-forno; o consumo dos agregados domésticos, é composto pelos consumos dos agregados familiares, exceto o consumo de combustível para o transporte pessoal,

com isso o consumo doméstico abrange todo o uso da eletricidade e de combustíveis utilizados no aquecimento de ambientes e de água; o consumo da agricultura, é a soma dos consumos da agricultura e floresta, levando em consideração o consumo dos motores utilizados para o transporte agrícola; e o consumo do setor de serviços, são as quantidades consumidas pela Administração Pública e por empresas do setor de prestação de serviços [16].

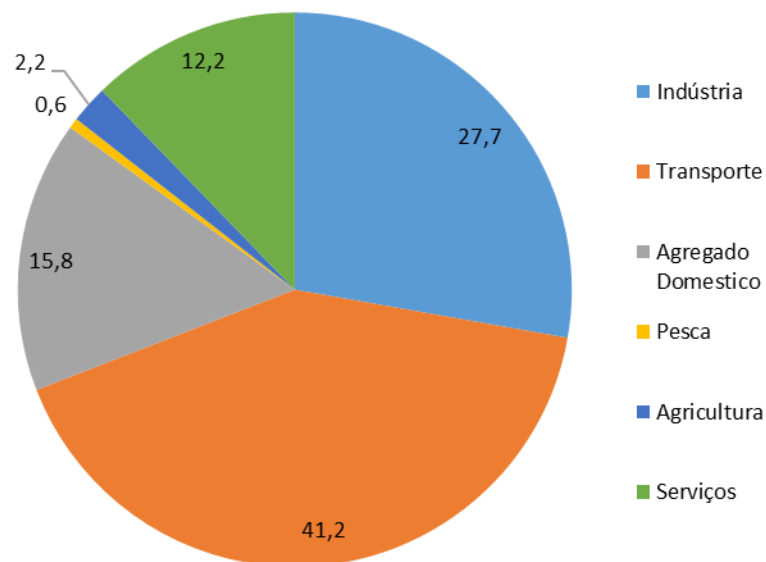


Figura 4 - Gráfico dos consumos energéticos de Portugal divididos entre os setores consumidores referente ao ano de 2015 [16].

Através da Figura 4 é possível perceber que o setor de transportes é o maior consumidor energético, seguido pela indústria, agregado doméstico e serviços. Os setores de agricultura e pesca são os setores que menos consomem energia final em Portugal.

O caso de estudo deste trabalho é um supermercado, o qual é classificado no setor de serviços, consequentemente as abordagens levantadas neste trabalho serão direcionadas para o respetivo setor consumidor.

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é apresentar melhorias que possam diminuir o consumo energético de um edifício comercial (supermercado), localizado em Tomar, através da simulação dinâmica energética utilizando o *software* Revit® da Autodesk®, respeitando todos os regulamentos vigentes. Contribuindo, assim, para a diminuição do consumo de energia final referente ao setor de comércio e serviço em Portugal.



A procura deste objetivo foi centrada em medidas de conservação de energia, quer ao nível das soluções construtivas do edifício, quer na gestão dos sistemas técnicos, como a iluminação e a climatização. Nesse sentido, o foco principal passou, inicialmente, por avaliar modificações nas propriedades térmicas das envolventes opacas e envidraçadas, a introdução de proteções solares passivas aplicadas nas fachadas envidraçadas, a regulação da quantidade de luz natural nos ambientes interiores, através da utilização da técnica conhecida como *daylighting*, e, só após estas otimizações, que foram propostas as alterações na gestão dos sistemas técnicos, através da instalação de sensores de presença e de tubos solares, e alteração no *setpoint* das temperaturas de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização presentes no supermercado.

### 1.2.1 Objetivos complementares

Os objetivos complementares deste trabalho têm como pressuposto auxiliar na realização de trabalhos futuros, por meio de um levantamento bibliográfico que abranja vários conhecimentos de maneira resumida, mas que permita um vínculo com outras referências para o aprofundamento sobre o tema. Portanto, os objetivos complementares estão listados a seguir:

- Realização de uma abordagem histórica dos primeiros regulamentos criados em Portugal, no âmbito de eficiência energética em edifícios, considerando os regulamentos revogados até chegar aos regulamentos vigentes;
- Levantamento bibliográfico que apresente de maneira sucinta a simulação dinâmica de edifícios, metodologia BIM (*Building Information Modeling*), estratégia de controlo de iluminação natural (*daylighting*), e alguns sistemas utilizados;
- Detalhe dos procedimentos para realização da simulação dinâmica energética de edifícios, da simulação luminotécnica e da simulação da luz natural (*daylight*);
- Realização da análise da quantidade de radiação solar disponível na cobertura do supermercado, caso fosse implementando um projeto fotovoltaico, através de funções nativas do Revit®;
- Realização de uma análise sucinta das vantagens e desvantagens da utilização do Revit®, com base na experiência do autor deste trabalho.



### 1.3 EMPRESA - ENESCOORD

A Enescoord – Coordenação e Gestão de Projetos e Obras Ltda., foi criada em dezembro de 1999 pelos engenheiros Rui Enes Gonçalves e Nuno Enes Gonçalves, os quais tinham o propósito de servir o mercado com autonomia e rigor profissional em:

- Gestão de projetos de obras;
- Gestão, coordenação e fiscalização de obras;
- Coordenação de segurança e higiene no trabalho;
- Gestão e elaboração de projetos gerais de especialidades;
- Estudos energéticos de edifícios;
- Gestão da manutenção de edifícios;
- Auditorias energéticas e da qualidade do ar.

A missão da Enescoord é a garantia de qualidade dos empreendimentos em que ela se envolve, através da aplicação de todos os recursos e os conhecimentos técnicos disponíveis. Assim, sendo uma empresa que pretende consolidar-se no mercado, seja pelas competências técnicas e sociais, e por prestação de serviços integrados a gestão de projetos, desde a conceção à execução, potenciando todas as sinergias resultantes dessa integração. Nesse âmbito, a política da qualidade da Enescoord é estabelecida através de quatro princípios fundamentais, sendo o rigor técnico, empenho, zelo e diligência, buscando sempre a satisfação do cliente.

A Enescoord, através do engenheiro Nuno Enes, permitiu e auxiliou na realização deste trabalho, disponibilizando um caso de estudo real e as informações necessárias, sendo um supermercado localizado em Tomar, Portugal. E orientações referentes nas possíveis melhorias no edifício comercial e realização dos estudos luminotécnicos.



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA EUROPEIA E PORTUGUESA

### 2.1.1 Legislação atual de Portugal

## 2.2 SIMULAÇÃO DINÂMICA DE EDIFÍCIOS

## 2.3 METODOLOGIA BIM (*BUILDING INFORMATION MODELING*)

### 2.4 *SOFTWARE* BIM - REVIT®

### 2.5 GREEN BUILDING STUDIO®

## 2.6 ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

## 2.7 ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE ILUMINAÇÃO NATURAL - *DAYLIGHTING*

## 2.8 SISTEMAS DE CONTROLO DA ILUMINAÇÃO NATURAL - *DAYLIGHTING*

### 2.8.1 Sistemas de sombreamento



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é constituído pelo levantamento bibliográfico sobre os principais temas abordados neste trabalho, começando por uma contextualização macro até chegar ao tema de maior relevância, os sistemas de controlo de iluminação natural, em específico os tubos solares. Desse modo, as secções abrangem os assuntos na seguinte ordem: histórico de regulamentos relacionadas a eficiência energética de edifícios na União Europeia e Portugal até os regulamentos vigentes; simulação dinâmica energética de edifícios; a metodologia BIM (*Building Information Modeling*); *software* Revit®; breve introdução sobre o sistema de análise energética da Autodesk®, o Green Building Studio®; estratégias de otimização energética em edifícios; estratégias de controlo de iluminação natural (*daylighting*); sistemas de iluminação natural (*daylighting*); e por último, a abordagem sobre os tubos solares.

### 2.1 HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA EUROPEIA E PORTUGUESA

A primeira regulamentação de requisitos térmicos para edifícios em Portugal, foi o **Decreto-Lei n.º 40/90**, em 1990. Depois, em 1998 o Decreto-Lei n.º 40/90 foi atualizado para abranger os sistemas de climatização dos edifícios. Em 2002, a União Europeia aprovou a **Diretiva 2002/91/CE**, a qual regulamentava especificamente o desempenho energético dos edifícios para todos os países membros. Assim, em 2006, a Diretiva 2002/91/CE foi transposta parcialmente para a ordem jurídica de Portugal por meio dos **Decreto-Lei n.º 78/2006**, **Decreto-Lei n.º 79/2006** e **Decreto-Lei n.º 80/2006**. Em 2010, foi aprovada a **Diretiva 2010/31/UE**, sendo uma versão atualizada e que substituiu a Diretiva 2002/91/CE, e que atualmente está em vigor. Em sequência, em 2013, Portugal transpôs a Diretiva 2010/31/UE para o seu direito nacional através do **Decreto-Lei n.º 118/2013**. A cronologia das regulamentações da comunidade europeia e de Portugal estão representadas na Figura 5 [2].

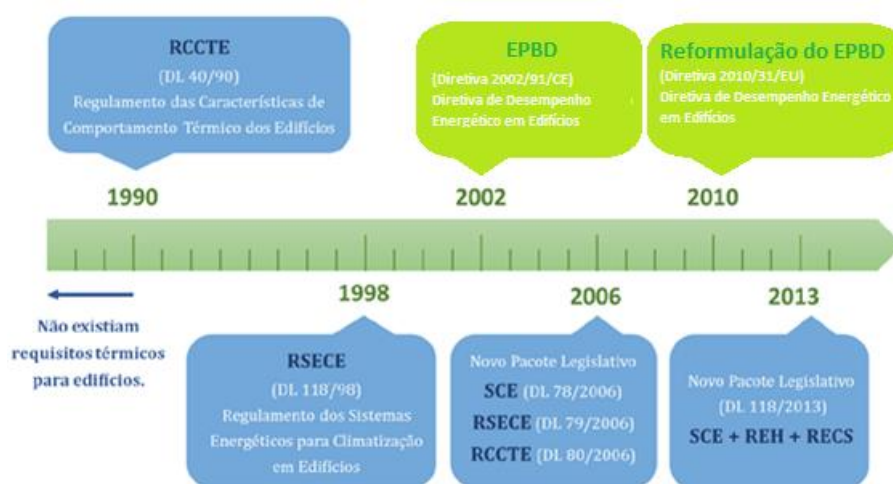


Figura 5 - Representação cronológica das principais regulamentos referentes ao consumo energético em edifícios - adaptada [2, p. 2].

Na década de 90, o governo português percebeu a necessidade de uma regulamentação sobre as condições térmicas dos edifícios, com o objetivo de melhorar as condições de salubridade, higiene e de conforto nos edifícios em geral e na habitação, além de regulamentar o consumo atual e potencial de energia para o conforto térmico e para o conforto visual, assim buscando uma melhor qualidade da construção por um todo. Então, aprovou-se o **Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)** pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro, sendo a primeira regulamentação legal que estabeleceu regras em projetos de edifícios, de modo que as exigências de conforto térmico no seu interior possam vir a ser asseguradas sem gasto excessivo de energia, e que os elementos de construção não sofram efeitos patológicos causados por condensações, ou seja, o objetivo principal era promover melhorias nas envolventes térmicas dos edifícios ainda na fase de conceção do projeto e na construção dos edifícios, com isso limitando as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento, o coeficiente de transmissão térmica das envolventes e o fator solar de vão envidraçados [17].

O Decreto-Lei n.º 40/90 não estabelecia as condições de como se deveria realizar o dimensionamento, nem as condições de uso dos equipamentos e sistemas de arrefecimento ou aquecimento, com ou sem desumidificação, assim foi aprovado o **Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE)** através do Decreto-Lei n.º 156/92, de 29 de julho, com o objetivo definir as regras sobre o dimensionamento e instalação dos sistemas de climatização, mas de modo que garantisse a eficiência energética respeitando as exigências de conforto térmico, a qualidade do ambiente definidas pelo Decreto-Lei n.º 40/90. Mas o RQSECE possuía problemas de compatibilização com direitos comunitários, com isso aprovou-se o **Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)** através do Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de maio, o qual definia regras para o dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização semelhantes ao RQSECE [18], [19].

Em 16 de dezembro de 2002, foi aprovado a **Diretiva 2002/91/CE**, também conhecida como “*Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*”, a qual considerou vinte e três pontos importantes, como o Protocolo de Quito, a gestão da procura de energia visando a segurança do abastecimento energético a médio e longo prazo, o setor residencial e terciário que na sua maior parte são constituídos por edifícios que consumiam mais de 40% do consumo final de energia da UE, e que se encontrava em expansão, e por consequência o aumento de emissões de dióxido de carbono, entre outras considerações importantes citadas no texto da diretiva [20].

Portanto, o objetivo fundamental da diretiva era promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade Europeia, levando em consideração as condições climáticas externas e locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade econômica, através da definição de uma metodologia obrigatória de cálculo de desempenho energético integrado dos edifícios, a aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energéticos dos novos edifícios e nos grandes edifícios já existentes, que fossem sujeitos a importantes obras de renovação, certificação energética dos edifícios, a inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios, e avaliação da instalação de aquecimento nas caldeiras com mais de 15 anos [20].

Desse modo, a Diretiva n.º 2002/91/CE obrigou os países da UE a implementarem um sistema de certificação energética, e que as informações da certificação energética fossem disponibilizadas aos cidadãos, informando sobre a qualidade térmica dos edifícios em qualquer fase/cenário que ele se encontrar, como na construção, venda ou arrendamento, além de incluir valores de referência das regulamentações legais e dados comparativos, e definiu o tempo máximo de validade de 10 anos para as certificações energéticas.

A Diretiva n.º 2002/91/CE causou a necessidade dos Decretos-Lei n.º 40/90 e nº. 119/98 serem revistos, pois eles não possuíam alguns itens obrigatórios da Diretiva n.º 2002/91/CE, como a certificação energética de edifícios. Consequentemente, Portugal transpôs a Diretiva n.º 2002/91/CE para seu ordenamento jurídico nacional em 2006, através de três Decretos-Lei, sendo o **Decreto-Lei n.º 78/2006** que sancionou o **Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)**, o **Decreto-Lei n.º 79/2006** que sancionou o **Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)**, e **Decreto-Lei n.º 80/2006** que sancionou o **Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**.

O **Decreto-Lei n.º 78/2006**, de 4 de abril que aprovou o SCE, tinha como objetivo implementar a certificação do desempenho energético e da qualidade do ar interior nos edifícios, a qual deveria descrever as medidas ou melhorias referente ao desempenho energético dos edifícios, assim garantindo e respeitando as condições de eficiência energéticas descritas na RCCTE e RSECE [21].

O RSECE aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de maio, não estabelecia nenhuma exigência em relação a valores mínimos de renovação de ar e nem em relação a manutenção dos sistemas de climatização, assim a falta de uma manutenção adequada dos sistemas de climatização levava ao aparecimento de problemas relacionados a qualidade do ar interior, sendo que em alguns casos poderia prejudicar a saúde dos frequentadores desses lugares. **Nesse contexto, foi proposto uma revisão do RSECE com quatro objetivos**, sendo que o **primeiro** objetivo era estabelecer os requisitos de conforto térmico e de higiene para os diferentes espaços dos edifícios, levando em consideração as atividades realizadas nesses ambientes e respeitando as orientações da Organização Mundial da Saúde (OMS), a *Organization for Standardization* (ISO) e o *Comité Européen de Normalisation* (CEN); o **segundo** objetivo era aumentar a eficiência energética global dos edifícios, assim não considerando somente os sistemas de climatização, mas todos os tipos de consumos de energia do edifício, com isso estabelecendo valores mínimos para a eficiência energética global em padrões aceitáveis para os edifícios existentes, a construir ou para edifícios existentes que terão grandes intervenções/modificações; o **terceiro** objetivo definia regras de eficiência aos sistemas de climatização, as quais buscavam o aumento do desempenho energético efetivo, e garantir a manutenção para uma boa qualidade do ar interior; **quarto** e último objetivo, propõem uma monitorização periódica em relação as práticas da manutenção dos sistemas de climatização, a fim de garantir a eficiência energética e a qualidade do ar interior dos edifícios [22].

Desse modo, o RSECE do Decreto-Lei n.º 118/98 foi revogado pelo **Decreto-Lei n.º 79/2006** de 4 de abril, o qual possuía o objetivo de estabelecer para os novos projetos de sistemas de climatização, os requisitos para o conforto térmico e de qualidade do ar interior, valores mínimos de renovação e tratamento de ar através da seleção adequada de equipamentos, e a sua organização em sistemas, além de estabelecer os limites máximos de consumo de energia para os grandes edifícios de serviços existentes, as condições de manutenção dos sistemas de climatização, as condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior, estabeleceu o perfil dos técnicos responsáveis pelo projeto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização visando a eficiência energética e a qualidade do ar interior, além de definir padrões de referência de utilização dos edifícios para ocupação, iluminação e equipamentos [22].

O **Decreto-Lei n.º 80/2006**, de 4 de abril, foi aprovado para atualizar o RCCTE da década de 90 que era pouco exigente, pois tinha como objetivo apenas limitar potenciais consumos energéticos. A versão do RCCTE do Decreto-Lei n.º 80/2006, complementa os objetivos do RCCTE da versão anterior, ao fixar as condições ambientais de referência para o cálculo dos consumos energéticos nominais, a partir de padrões típicos prováveis em relação a temperatura ambiente; definir valores mínimos para renovação do ar; garantir a qualidade do ar interior aceitável; aumentar a eficiência dos consumos energéticos nas exigências de conforto térmico, tanto para aquecimento ou arrefecimento; além da água quente sanitária, e ainda minimizar as



situações patológicas nos elementos de construção que acontecem por causa da condensações superficiais ou internas, que possuem um impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior [23].

Em 2010, o Parlamento Europeu e do Conselho aprovou a **Diretiva 2010/31/UE**, a qual é uma versão atualizada da Diretiva 2002/91/CE. A diretiva de 2010, tem como objetivo promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na UE, levando em consideração as condições climáticas externas e locais, além das exigências referentes ao clima interior e de rentabilidade, portanto, a diretiva estabelece alguns requisitos [24][25].

Os requisitos estabelecidos pela Diretiva 2010/31/UE são requisitos mínimos, assim não limita os Estados Membros a manter ou introduzir medidas mais rigorosas. Os requisitos estão descritos a seguir, que se refere:

- Ao quadro geral comum para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e das frações autónomas;
- À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos e das frações autónomas novas;
- À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos:
  - a. Edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações;
  - b. Elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos;
  - c. Sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado;
- Aos planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- À certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- À inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
- Aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

Ainda a diretiva de 2010 estabelece que até 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos deverão possuir um balanço energético quase nulo, entre produção e consumo até 2020, e os novos edifícios ocupados e propriedade de autoridades públicas deverão cumprir este requisito até 31 de dezembro de 2018, com isso buscando reduzir em 70% da emissão de CO<sub>2</sub> da UE [24].

### 2.1.1 Legislação atual de Portugal

Com a Diretiva 2010/31/UE em vigor, houve a necessidade da legislação portuguesa ser atualizada e melhorada em relação a sistematização e a aplicação do sistema de certificação energética. Daí surge a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013 que atualiza a legislação portuguesa e realiza a implementação dos interesses que envolvem a aplicação da Diretiva 2010/31/UE.

O **Decreto-Lei n.º 118/2013** vincula num único documento oficial o **Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)**, o **Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)** e o **Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)**, assim revogando o Decreto-Lei n.º 78/2006, Decreto-Lei n.º 79/2006 e Decreto-Lei n.º 80/2006.

O Decreto-Lei n.º 118/2013 representa uma melhoria na sistematização, pois padroniza os conceitos e terminologias utilizadas nesse meio, assim facilitando a interpretação e a aplicação do SCE nos edifícios de habitação (REH), e nos edifícios de comércio e serviços (RECS). Atualiza os requisitos de qualidade térmica, também estabelece os requisitos a partir de padrões mínimos de eficiência energética, água quente sanitária, dos sistemas de climatização e do aproveitamento de energias renováveis. E elimina as auditorias de qualidade de ar interior, mas mantém-se as exigências de controlo das fontes de poluição, de adoção de medidas preventivas para diminuir os possíveis riscos para saúde das pessoas que utilizam os edifícios [26].

O SCE classifica os edifícios em oito níveis de A+ até F (A+, A, B, B-, C, D, E, F), sendo A+ a classificação com melhor eficiência energética e F a pior. Além de reconhecer o certificado energético e o pré-certificado energético, como certificações técnicas, e torna as certificações obrigatórias.

O REH estabelece as exigências para os edifícios de habitação novos ou o que sofrerão intervenções, definindo os parâmetros e o método para a caracterização do desempenho energético. Já o RECS, estabelece as exigências dos edifícios de comércio e serviços na fase de projeto, construção, intervenção, operação e manutenção, e os parâmetros e os métodos para a determinação do seu desempenho energético. Além de estabelecer exigências e requisitos para instalação, condução e manutenção dos sistemas de climatização, com o objetivo de promover um funcionamento energético eficiente.

O Decreto-Lei n.º 118/2013 também incentiva o uso de fontes de energia renováveis, e a utilização de sistemas ou soluções passivas nos edifícios, por exemplo modificar as envolventes térmicas opacas ou envidraçadas, as quais são soluções passivas, para diminuir o consumo energético dos sistemas de climatização. Nestas circunstâncias, os edifícios com necessidades energéticas quase nulas são denominados NZEB (*Nearly Zero Energy Building* - NZEB), em outras palavras, são edifícios com elevados desempenhos energéticos, os quais a partir de 2018 ou 2020 serão obrigatórios para novas construções.

O Decreto-Lei n.º 118/2013, desde a sua aprovação até 2017, sofreu quatro alterações, sendo a primeira por meio do **Decreto-Lei nº 68-A/2015**, a segunda pelo **Decreto-Lei n.º 194/2015**, a terceira através do **Decreto-Lei n.º 251/2015**, e última pelo **Decreto-Lei n.º 28/2016**. As alterações não serão abordadas neste trabalho.

O desempenho energético e a certificação energética dos edifícios abrangidos pela REH e RECS não são somente regularizados pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, há também Portarias, Despachos, Leis e Decretos-Lei que complementam a legislação. A legislação portuguesa sobre desempenho energético de edifícios, referente a região do continente, está descrita a seguir:

- **Lei n.º 58/2013:** define os requisitos necessários para um profissional ser um **perito qualificado para a certificação energética (PQ)**, e de **técnico de instalação e manutenção de edifícios e sistemas (TIM)**, ou seja, profissionais que podem realizar a certificação energética estabelecida pela SCE do Decreto-Lei n.º 118/2013. Os profissionais PQ podem ser arquitetos, engenheiros ou engenheiros técnicos, para atuarem na REH e RECS com potência nominal do edifício inferior ou igual a 25 kW. Para PQ-II, precisam ser engenheiros mecânicos, engenheiros técnicos mecânicos, engenheiros eletrotécnicos, engenheiros técnicos de energia e sistemas de potência, especialistas em engenharia de climatização ou energia, entre outros requisitos [27];
- **Portaria n.º 349-A/2013:** estabelece as competências da entidade responsável do SCE, do técnico responsável pela certificação e do técnico de instalação e de manutenção, também define as categorias de edifícios, os tipos de pré-certificados e certificados energéticos, as responsabilidades de emissão do pré-certificado e do certificado SCE, além da taxa de registro, critérios de seleção da verificação da qualidade, do relatório de verificação de qualidade e das anotações ao registro individual [28]. Os critérios de seleção da verificação da qualidade dos processos de certificação foram estabelecidos no **Despacho n.º 7113/2015** [29], e em 2015 também foi realizada a **Declaração de retificação n.º 769/2015** para o Despacho n.º 7113/2015 [30]. A Portaria 349 A/2013 sofreu a sua primeira alteração através da **Portaria n.º 115/2015**, a qual tem o objetivo de melhorar a gestão operacional entre a entidade gestora e os PQ, em relação a publicação e divulgação dos esclarecimentos relacionados a

interpretação da SCE, por meio digital, e estabelecer taxas reduzidas para a obtenção de pré-certificados e certificados abrangidos pelo REH [31]. A segunda alteração da Portaria n.º 349-A/2013, ocorreu através da **Portaria n.º 39/2016**, com o intuito de beneficiar os imóveis familiares com menos rendimento e as pequenas e médias empresa, assim reduzindo os custos dos certificados energéticos [32];

- **Portaria n.º 349-B/2013:** estabelece a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para pré-certificados e certificados SCE para os edifícios de habitação (REH), além de definir exigências de eficiência térmica e de comportamento dos sistemas técnicos dos edifícios ou sujeitos a grande alterações, para serem seguidos a partir de 31 de dezembro de 2015 [33]. A primeira alteração foi através da **Portaria n.º 379-A/2015**, que alterou alguns parâmetros da metodologia de determinação da classe energética e das exigências construtivas dos edifícios, como os valores de referência do coeficiente de transmissão térmica superficiais para elementos opacos e de vão envidraçados; os valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica superficiais para elementos opacos; algumas equações referentes a ganhos térmicos, entre outros parâmetros para serem seguidos a partir de 1 de janeiro de 2016 [34]. A segunda e a mais recente alteração realizada pela **Portaria n.º 319/2016**, modificou alguns parâmetros pontuais, referente à metodologia de classificação energética dos edifícios [35];
- **Portaria n.º 349-C/2013:** determina os requisitos que comprovem o cumprimento do REH e do RECS, definindo as informações que devem constar nos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas, por exemplo para REH, o termo de responsabilidade (TR), projeto de comportamento térmico elaborado pelo técnico responsável pela TR, localização do edifício e caracterização do meio urbano, entre outros pontos estabelecidos [36]. Em 2014 foi realizada a **Retificação n.º 4/2014** [37]. E em 2015 foi realizada a primeira e mais recente alteração através da **Portaria n.º 405/2015**, que acrescentou alguns parágrafos referente à situação dos edifícios abrangidos pelo RECS e REH, que não sofrendo uma grande intervenção, estão dispensados do cumprimento de alguns requisitos estabelecidos pela legislação [38].
- **Portaria n.º 349-D/2013:** define exigências referentes a qualidade térmica da envolvente e a eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e dos sujeitos a grande intervenção que se enquadram no RECS, além de especificar a metodologia para o cálculo do Indicador de Eficiência Energética (IEE). O IEE possui três tipos, o **IEE previsto**, quando calcula-se o consumo anual de energia do edifício através de informações como localização, características da envolvente, eficiência dos sistemas técnicos, e dos perfis de ocupação e

utilização da iluminação e equipamentos; o **IEE efetivo**, quando obtém-se o histórico das faturas de energia para a determinação do IEE; e o **IEE de referência** quando o objetivo é determinar o consumo anual de energia utilizando características de referência da envolvente e sistemas técnicos, mas mantendo as demais características do edifício. Também é definido o método para determinação dos IEEs, que podem ser um método base ou alternativo para pequenos edifícios de comércio e serviços (PES), grande edifícios de comércio e serviços (GES), GES sujeito ao **Plano de Racionalização Energética (PRE)**, com e sem melhoria no sistema de climatização ou envolvente, diferenciando-se entre edifício novo, existente ou sujeito a grande intervenção, assim podendo ser determinado através da simulação dinâmica multizona, consumo efetivo e cálculo dinâmico simplificado (monozona) [39]. Em 2014, houve a **Declaração de Retificação n.º 3/2014** [40]. Em 2015, o **Despacho n.º 8892/2015** complementou a Portaria n.º 349-D/2013, em relação a obrigatoriedade da etiquetagem para elevadores, tapetes rolantes, escadas rolantes, e determinou o modelo da etiqueta a ser utilizado a partir de 31 de dezembro de 2015 [41]. E uma única alteração através da **Portaria n.º 17-A/2016**, que esclareceu algumas situações, como a consideração da presença de um sistemas solar térmico, e modificou os valores do coeficiente de transmissão térmica máximo admissível para envolvente opaca e vãos envidraçados exteriores [42].

- **Portaria n.º 353-A/2013:** estabelece exigências mínimas referente a quantidade de caudal de ar novo para os espaços dos edifícios, e as condições de referência para os poluentes do ar interior, assim definindo as exigências para a ventilação e qualidade do ar interior dos edifícios abrangidos pelo RECS e a metodologia para a determinação desses valores, com isso diferenciando a ventilação natural, que pode ser determinada através do método base, simplificado ou condicional, e ventilação mecânica. Além de definir métodos para determinação do caudal mínimo de ar novo, requisitos dos sistemas de climatização e ventilação, e da fiscalização da qualidade do ar interior para edifícios já existentes [43]. Em 2014 houve a **Declaração de Retificação n.º 2/2014** [44].
- **Portaria n.º 66/2014:** define a metodologia da avaliação dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), descrevendo as áreas técnicas que serão abordadas nas avaliações, além de estabelecer os peritos qualificados para a certificação energética (PQ), e como técnico de instalação e manutenção de edifícios e sistemas (TIM) [45].
- **Despacho n.º 15793-C/2013:** estabelece o modelo do documento a ser seguido para o pré-certificado e o certificado referente ao SCE, diferenciando os modelos para os edifícios abrangidos pelo REH e pelo RECS [46]. Em 2016, foi

aprovado o **Despacho n.º 6469/2016**, que altera o Despacho n.º 15793-C/2013, com isso permitindo a possibilidade de verificação da evolução do desempenho energético dos edifícios [47];

- **Despacho n.º 15793-D/2013:** define os valores de conversão de unidade entre energia útil e energia primária utilizada na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária de edifícios de habitação e do indicador de eficiência energética dos edifícios de serviços [48]. Possui a **Declaração de Retificação n.º 129/2014** [49].
- **Despacho n.º 15793-E/2013:** estabelece as regras de simplificação das características dos edifícios existente e nos sujeitos a grandes intervenções, em relação a envolvente, parâmetros térmicos, ventilação, eficiência dos sistemas técnicos e das contribuições de sistemas solares térmicos, para o cálculo do IEE para determinar a classificação energética [50].
- **Despacho n.º 15793-F/2013:** divide o território português em zonas climáticas de inverno e verão, através da Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, além de estabelecer os parâmetros climáticos utilizados para calcular o IEE, consequentemente a classificação energética do edifício levando em consideração o clima da sua localização, como número de graus-dias, duração da estação, a temperatura exterior média, da energia solar média mensal durante a estação [51]. Possui a **Declaração de Retificação n.º 130/2014**, que acrescenta os municípios de Sousel e Vila Viçosa, e corrige um parâmetro definido [52].
- **Despacho n.º 15793-G/2013:** determina requisitos mínimos para o ensaio e receção provisória das instalações e para o plano de manutenção para os edifícios abrangidos pelo RECS, sendo alguns como testes de funcionamento das redes de condensados, estanqueidade da rede de condutas, medição dos caudais de ar, medição dos consumos elétricos e confirmação do cumprimento das exigências de higiene dos sistemas de climatização [53];
- **Despacho n.º 15793-H/2013:** descreve as regras de quantificação e contabilização da contribuição de sistemas de fontes renováveis, sendo para sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos, sistemas eólicos, biomassa, mini hídrica, aerotérmica e geotérmica, em kWh/ano [54]. O **Despacho n.º 14985/2015** complementa o Despacho n.º 15793-H/2013, e estabelece a metodologia para o cálculo do valor do total de calor utilizável estimado produzido por bombas de calor aerotérmicas, geotérmicas e hidrotérmicas, e define os valores do *Seasonal Performance Factor* (SPF), sendo que esses dois parâmetros são utilizados para determinar a contribuições das fontes renováveis [55]. Em 2016, houve a necessidade de atualizar o Despacho n.º



15793-H/2013, em relação ao procedimento da determinação da energia produzida pelos sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, os quais são contabilizados e utilizados na certificação energética, essa atualização foi realizada através do **Despacho n.º 3156/2016** [56];

- **Despacho n.º 15793-I/2013:** estabelece as metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária [57]. Em 2014 foi feita a **Declaração de Retificação n.º 128/2014** [58]. Em 2017 foi aprovado o **Despacho n.º 3777/2017**, com o objetivo de harmonizar as metodologias publicadas em vários diplomas, que estabelecem a quantificação da contribuição da energia renovável, obtida a partir de bombas de calor para a determinação das necessidades nominais anuais de energia útil, para aquecimento e arrefecimento de ambientes dos edifícios, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária [59];
- **Despacho n.º 15793-J/2013:** define os valores da razão entre as necessidades nominais anuais de energia primária e as necessidades nominais anuais de energia primária regulamentadas, assim através desses valores é realizada a determinação da classe energética [60].
- **Despacho n.º 15793-K/2013:** determina a metodologia para a obtenção do coeficiente global de transferência de calor, e padroniza os valores de resistência térmica, o coeficiente de transmissão térmica linear, fator solar de vão envidraçados, entre outros, para cenários genéricos [61]. Em 2014, foi feita a **Declaração de retificação n.º 127/2014** [62].
- **Despacho n.º 15793-L/2013:** estabelece a metodologia da viabilidade econômica para aplicação de qualquer medida de eficiência energética que estiver descrito no plano de racionalização energética, o qual é de implementação obrigatória, quando não existir limitações para a instalação ou o período de retorno simples (*Payback*) seja igual ou inferior a 8 anos [63].
- **Despacho n.º 6470/2016:** complementa a Portaria n.º 349 -D/2013, definindo os requisitos que devem conter no PRE (Plano de Racionalização Energética), como a localização de edifício, identificação e contatos dos proprietários dos edifícios, o consumo total anual de energia final, entre outros requisitos obrigatórios. O Despacho n.º 6470/2016, também complementa o Despacho n.º 15793-L/2013, através da obrigatoriedade de vários requisitos, como a identificação de medidas de racionalização do consumo ou dos custos com a

energia e que eles sejam possíveis de serem executados e possuam viabilidade econômica, a descrição dos principais materiais e equipamentos a serem utilizados para a implementação de medidas de aumento da eficiência energética presente no PRE, entre outros requisitos [64];

Para os territórios portugueses que não fazem parte do continente, como as regiões autónomas da Madeira e Açores, possuem uma legislação específica para cada região, sendo respetivamente o **Decreto Legislativo Regional n.º 1/2016/M**, e o **Decreto Legislativo Regional n.º 4/2016/A**.

## 2.2 SIMULAÇÃO DINÂMICA DE EDIFÍCIOS

Com base na **Portaria n.º 349-D/2013** do **Decreto-Lei n.º 118/2013**, os novos e grandes edifícios de comércio e serviços devem utilizar a simulação dinâmica multizona, como ferramenta para a obtenção dos valores dos consumos energéticos anuais, cenário em que o caso de estudo abordado neste trabalho se encontra, aplicado em condições reais de funcionamento.

A simulação computacional é uma ferramenta que permite analisar diversos cenários através de modelos computacionais, os quais representam um sistema existente ou proposto, para serem aplicados em pesquisas operacionais ou de processos, com o objetivo de identificar e entender os fatores que controlam o sistema, podendo auxiliar em processos de tomada de decisão, em análises e avaliações de sistemas, e em propor soluções para a melhoria de performance, sendo que qualquer sistema que possa ser descrito quantitativamente por meio de equações, expressões matemáticas ou regras, podem ser simulados [65], [66, p. 2].

Segundo L. C. Silva [65], o nível tecnológico atual referente à área de informática, como novos *hardwares* com desempenho superior e novas linguagem de programação, permite utilizar a simulação computacional em diversas situações do mundo real, como projetar e analisar sistemas industriais, avaliar performance de *hardware* e *software* em sistemas de computação, analisar o desempenho de armas e estratégias militares, determinar a frequência de pedidos de compra para reposição de stocks, projetar e administrar sistemas de transporte de portos, ferrovias, hidrovias e aeroportos, além de configurar sistemas de atendimento em hospitais, supermercado e bancos.

L. C. Silva [65] também comenta sobre a simulação computacional aplicada na área de engenharia, com a finalidade de descrever o comportamento de um sistema; testar teorias e/ou hipóteses, por meio da previsão de resultados aplicadas numa determinada ação ou processo; reduzir os riscos na tomada de decisão; na identificação de problemas antes mesmos deles ocorrerem; auxiliar na eliminação de processos industriais que não agregam valor à produção; realizar análises de



sensibilidade; auxiliar na redução de custos, como mão de obra, água, energia, estrutura física, compra de matéria prima, controlo de stock; e auxiliar na determinação de viabilidade técnica e económicas em projetos.

Os sistemas podem ser definidos, como sendo uma instalação ou processo real que seguem regras lógicas de funcionamento para realizar uma ou mais finalidades. Segundo L. C. Silva [65], um sistema pode ser um conjunto de estruturas e recursos, por exemplo, num cenário industrial, as estruturas estão relacionadas as edificações e equipamentos, e os recursos relacionados ao capital, matéria prima, mão de obra, energia e água, que possuem como finalidade a fabricação de um ou mais produtos.

Os modelos de simulação podem ser classificados de diversas maneiras, sendo mais usual a classificação em três grupos: **estático** ou **dinâmico**, **determinístico** ou **estocástico (probabilístico)**, e **discreto** ou **contínuo**. Um **modelo estático** representa um sistema que não se altera com o tempo, assim representa o estado do sistema num instante, já um **modelo dinâmico** representa um sistema que possui uma variável temporal, com isso o estado de um sistema muda com o tempo. Um **modelo determinístico** não possui variáveis aleatórias na sua formulação, assim o modelo possui um conjunto de dados de entrada conhecido, do qual resultará um único conjunto de dados de saídas (resultados), geralmente são modelos analíticos, mas que deixam de ser quando há um grande número de variáveis, enquanto um **modelo estocástico** ou **probabilístico** possui uma ou mais variáveis aleatórias no conjunto de entrada, que produzem saídas aleatórias que são denominadas estimativas, sendo assim, o contrário de um modelo determinístico, um modelo estocástico está mais próximo da realidade. Um **modelo discreto** possui o avanço da contagem do tempo da simulação através da ocorrência dos eventos ou de um valor fixo, enquanto no **modelo contínuo** a passagem do tempo da simulação acontece de forma contínua, assim permitindo determinar os valores das variáveis de estado do sistema em qualquer instante da simulação. Ainda havendo a possibilidade de combinar os modelos, assim podendo ser simulado um sistema discreto e contínuo, denominado modelo misto [65]–[67].

Segundo L. Roriz [68, p. 117], devido o aumento da preocupação referente a preservação ambiental, a saúde pública, ao bem estar social, aos aspetos económicos, e a evolução tecnológica, fez surgir a necessidade da criação de legislações cada vez mais rigorosas, que visão a redução do consumo energético, por exemplo as diretivas europeias relacionadas a eficiência energéticas de edifícios, e o Decreto-Lei n.º 118/2013, da legislação portuguesa, que obriga a realização de pré-certificados e certificados energéticos do SCE em todos os edifícios abrangidos pela RECS e REH, com isso intensificando o uso das simulações dinâmicas energética de edifícios para determinação dos consumos anuais e realização da classificação energética.

Através da simulação dinâmica energética, é possível definir propostas de otimização do desempenho energético de edifícios e compará-los com os resultados obtidos, por exemplo, a realização de simulações dinâmicas energéticas com diferentes soluções

construtivas, referente a envolvente opaca e translúcida, é possível obter e comprar os resultados dessas diferentes soluções, em relação ao comportamento térmico do edifício e dos impactos no conforto térmico para as pessoas que o ocupam, além das variações no comportamento energético. Outros exemplos de aplicação da simulação dinâmica energética, é quando se quer analisar os sistemas que compõem os edifícios e de suas influências no consumo energético, como de iluminação, ventilação e climatização [69, p. 27], [70, p. 34].

De maneira resumida, o primeiro passo para se realizar uma simulação dinâmica é realizar a caracterização construtiva do edifício, determinar a sua localização, altitude e orientação cardinal, se há sombreamento de outras construções ou vegetações, horário de ocupação, estimar as infiltrações de ar, carga térmica interna, sistemas de climatização e ventilação, e detalhar as atividades realizadas nos ambientes do edifício [69, p. 27].

A caracterização dos elementos construtivos do edifício é o detalhamento das envolturas opacas, que são formadas pelas paredes, pavimentos e coberturas; a envolvente translúcida, que é composta pelos vidros e as caixilharias que estão presentes em fachadas envidraçadas, janelas, portas e claraboias; e as proteções solares exteriores e interiores, como estores e persianas nas janelas. Depois de efetuar o levantamento de todos os dados que caracterizam o edifício, os quais são necessários para a simulação dinâmica energética, é definido o *software* a ser utilizado, e a criação do modelo computacional com as informações levantadas, como número de ocupantes, perfis de utilização dos sistemas de iluminação, ventilação e climatização, com as suas respectivas densidades de potência [71, p. 5].

As simulações dinâmicas energéticas podem ser classificadas pelos tipos de dados utilizados, em simulação reais, nominais ou de referência. As simulações dinâmicas energéticas em condições reais, auxiliam na calibração do modelo computacional, pois nesse cenário é possível comparar os resultados obtidos com a simulação, que são os consumos energéticos simulados, com os valores das faturas do consumo energético do edifício. **Segundo alguns autores, para o modelo da simulação dinâmica ser validado, a diferença entre o consumo energético real do edifício e o consumo energético simulado precisa ser menor ou igual a 10%.** Depois da validação do modelo computacional, pode-se realizar as simulações nominais e de referência [71, p. 5], [72, p. 34], [73, p. 20].

Com os resultados obtidos através das simulações dinâmicas, é possível definir medidas de melhoria e simulá-las, gerando assim resultados que permitem analisar as mudanças causadas pelas medidas de melhoria, como o comportamento térmico e energético do edifício. Desse modo, é possível selecionar as medidas que apresentarem as melhores eficiências energéticas para o edifício, caso seja esse o objetivo de se realizar a simulação dinâmica [71, p. 5].

Há vários *softwares* de simulação dinâmica energética de edifícios conhecidos, que possuem diferentes resultados entre si para um mesmo caso de estudo. Segundo L.

Roriz [68, p. 119], isso ocorre porque os *softwares* podem utilizar métodos de cálculo diferentes, como no cálculo térmico do edifício, além das diferenças relacionadas aos utilizadores, devido a interpretação de cada um sobre a arquitetura do edifício ou de simplificações no modelo computacional, assim resultando nas diferenças dos valores dos resultados das simulações dinâmicas de *softwares* diferentes, ou até mesmo utilizando o mesmo *software*, mas utilizadores diferentes. Consequentemente, todos os resultados obtidos de uma simulação devem ser analisados com senso crítico, pois se o utilizador preencher o modelo com informações erradas ou o *software* não conseguir simular o modelo de interesse por limitações, os resultados das simulações estarão errados.

Com o aumento da utilização de *softwares* para simulações dinâmicas energéticas de edifícios, a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), estabeleceu a norma ASHRAE 140, uma metodologia para testar a precisão, as limitações, erros e as diferenças de resultados entre os *softwares*, com o objetivo de validar e dar credibilidade aos melhores *softwares* de simulação dinâmica energética de edifício [69, p. 28].

Na Tabela 1 estão listados os *softwares* credenciados pela norma ASHRAE 140 de 2004, mas a norma mais atual é de 2014, portanto os *softwares* mais recentes não constam na Tabela 1.

Tabela 1 - *Softwares* de simulação dinâmica energética de edifícios credenciados pela norma ASHRAE 140 – 2004 [73, p. 21].

<b>Softwares</b>	<b>Organizações responsáveis</b>
BLAST	CERL - <i>U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, USA</i>
DOE-2	LANL- <i>Los Alamos National Laboratory, USA</i> LBNL- <i>Lawrence Berkeley National Laboratory, USA</i> <i>James J. Hirsch &amp; Associates, USA</i>
ESP	<i>Strathclyde University, GB</i>
SRES/SUN	NREL- <i>National Renewable Energy Laboratory, USA</i> <i>Ecotope, USA</i>
SRES/BRE	NREL- <i>National Renewable Energy Laboratory, USA</i> BRE - <i>Building Research Establishment, GB</i>
S3PAS	Universidade de Sevilha, Espanha
TASE	<i>Tampere University, Finlândia</i>
TRNSYS	<i>University of Wisconsin, USA</i>
TRNSYS/TUD	<i>University of Wisconsin, USA</i>

	<i>Technische Universität Dresden, Alemanha</i>
CA-SIS	<i>Electricité de France, França</i>
CLIM2000	<i>Electricité de France, França</i>
	<i>LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory, USA</i>
	<i>UIUC - University of Illinois Urbana-Champaign, USA</i>
	<i>CERL- U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, USA</i>
	<i>OSU-Oklahoma State University, USA</i>
	<i>GARD Analytics, USA</i>
	<i>FSEC – University of Central Florida, Florida Solar Energy Center, USA</i>
ENERGYPLUS	<i>DOE-OBT Department of Energy, Office of Building Technology, USA</i>

### 2.3 METODOLOGIA BIM (*BUILDING INFORMATION MODELING*)

A sigla BIM significa “*Building Information Modeling*”, a tradução de BIM é “Modelagem de Informações de Construção”. Os autores L. F. C. Masotti [74, p. 15] e D. G. Simões [75, p. 7] dizem que o BIM é uma metodologia complexa, portanto é difícil defini-la em poucas palavras, há várias definições de vários autores, por exemplo, J. C. Pacher [76], define o BIM sendo uma metodologia de trabalho que abrange geometria, relações espaciais, informações geográficas, as quantidades e as propriedades construtivas de componentes, como detalhes do fabricante, além de mostrar o ciclo de vida da construção incluindo os processos construtivos e fases de instalação. Já M. Kassem and S. Amorim [77, p. 19] utilizam no seu trabalho a definição da *National Institute of Building Sciences* (NIBS) [78], a qual define o BIM como sendo uma “representação virtual das características físicas e funcionais de uma edificação, por todo o seu ciclo de vida, servindo como um repositório compartilhado de informações para colaboração”, e M. Kassem and S. Amorim [77, p. 19] complementam que o BIM é uma inovação tecnológica radical de processo, alterando funções, responsabilidades e conteúdo de produtos ao longo de todo o ciclo de vida das construções.

A NIBS na sua definição de BIM cita “representação virtual das características físicas e funcionais de uma edificação”, entretanto BIM não se limita somente em projetos de edificações, mas desde a indústria de produtos e materiais passando pelos projetos e obras de edifícios, estradas, e outros de infraestrutura, manutenção e desmonte ou reuso destas obras [77].

Desse modo, alguns autores afirmam que o BIM não pode ser considerado a evolução do CAD (*Computer Aided Design* – Desenho Assistido por Computador), e nem compará-lo com ele, porque o BIM não é simplesmente a modelização computacional do projeto em 3D, e nem abrange somente o ambiente de projeto, pois o BIM permite criar uma biblioteca de informações organizada sobre os projetos desde a fase inicial até o final do ciclo de vida da construção [75, p. 7], [76].

A metodologia BIM possui várias camadas de informação, denominadas dimensões, desse modo, um modelo BIM pode ser 2D, 3D, 4D,..., nD, dependendo da quantidade de informações necessárias no projeto, assim atualmente é comum classificar os modelos BIM até a 7D, mas alguns autores já utilizam a 8D.

As dimensões mais utilizadas nos modelos BIM, estão listadas a seguir [74], [76], [79]–[82]:

- **2D - Gráfico:** quando o modelo contém somente as dimensões do plano, assim representam graficamente as plantas da construção de interesse;
- **3D – Modelo Paramétrico:** permite a visualização tridimensional igual dos *softwares* CAD, mas por ser da metodologia BIM, possui algumas características a mais, como a parametrização dos elementos utilizados na modelagem do modelo computacional; visualização em perspectiva, que é muito utilizado em estudo luminotécnicos; há possibilidade de identificação de conflitos entre elementos, função conhecida como *clash detection*, por exemplo, uma porta fora do lugar, um tubo que passa por um pilar, os dutos dos sistemas de climatização que se colidem, assim evitando problemas de construção ou instalação; o modelo 3D também contém informações sobre as condições físicas, ambientais, dos elementos arquitetônicos, estruturais, mecânicos e dos sistemas de climatização e ventilação;
- **4D – Planeamento (Tempo):** quando o modelo BIM possui informações relacionadas com o tempo, ou seja, com o cronograma das fases do empreendimento, sendo que alguns *softwares* BIM permitem a representação de elementos permanentes e temporários através de elementos gráficos relacionados com o cronograma, assim tornando possível definir metas e prazos das atividades referentes ao empreendimento, por exemplo, quando os equipamentos serão comprados, armazenados, preparados, instalados e utilizados. Desse modo, possibilitando o preparo do canteiro de obra, em relação a movimentação das equipes, dos equipamentos necessários, e das manutenções que deverão ser realizadas;
- **5D – Orçamento (Custo):** dimensão relacionada aos custos, assim permitindo a quantificações de todos os materiais, peças, objetos e elementos de construção, com isso contabilizando o investimento do empreendimento

através de uma geração automática de quantidades de trabalho e custos, assim podendo obter o custo relacionado a cada etapa, secção específica ou modificação do projeto, possibilitando o ajuste das metas da obra em relação aos custos;

- **6D – Sustentabilidade (Avaliação Ambiental):** dimensão relacionada à energia, assim através do modelo BIM é possível quantificar e qualificar a energia necessária no empreendimento, como a fase de construção, realizar análises energéticas relacionadas aos consumos no período de funcionamento do empreendimento, através da simulação dinâmica energéticas de edifícios. Portanto, a dimensão 6D complementa a dimensão 5D, a qual é responsável pelos custos;
- **7D – Gestão de Instalações (Gestão e Manutenção – Ciclo de Vida):** esta dimensão permite que gestores de operação e manutenção das instalações, acessem as informações relacionadas ao estado dos componentes, especificações, manutenção, manuais de operação, datas de garantias, procedimentos de funcionamento e de manutenção dos sistemas de ar-condicionado e ventilação em caso de falhas ou defeitos;
- **8D – Segurança:** dimensão relacionada a segurança e prevenção de acidentes, através da determinação dos possíveis riscos no processo construtivo e/ou operacional no modelo, definir propostas de medidas de segurança relacionado com os perfis de riscos, e propor um controlo de riscos e de segurança do trabalho. Desse modo, utilizando o modelo para prevenir os possíveis acidentes no processo construtivo e operacional do empreendimento.

Outra característica da metodologia BIM é a sua capacidade de interoperabilidade, a qual permite a comunicação de informações/dados entre diferentes atividades produtivas, sendo que essa comunicação pode estar relacionada a diversas áreas profissionais que abrange um projeto, como a comunicação entre *softwares* utilizados na realização das atividades [83, p. 1].

A metodologia BIM é padronizada pela norma ISO 29481-1:2016, assim facilitando a interoperabilidade entre *softwares* utilizados em todas as etapas do ciclo de vida das obras de construção, incluindo *briefing* (*briefing* é um conjunto de informações ou dados obtidos numa reunião para o desenvolvimento de um trabalho ou documento), design, documentação, construção, operação e manutenção e demolição [84].

Desse modo, a interoperabilidade do BIM está modificando o fluxo de trabalho de projetos. O processo tradicional do fluxo de trabalho é fragmentado, dessa maneira cada disciplina, como estrutura, hidráulica, elétrica, arquitetura, realiza os seus trabalhos de forma independente, assim cada disciplina comunica-se com as outras de

forma individual, como ilustrado na Figura 6. Por exemplo, se o setor de arquitetura precisar discutir uma modificação com o setor de engenharia e depois avisar a construtora sobre a modificação, no processo tradicional, o setor de arquitetura primeiramente terá que se comunicar com o setor de engenharia, caso o setor de engenharia concorde com as modificações, o setor de arquitetura pode avisar a construtora, caso a construtora não concorde com a modificação, o setor de arquitetura terá que criar uma nova proposta de modificação, e comunicar novamente o setor de engenharia para depois à construtora, desse modo, a comunicação entres os setores de interesse é muito demorado comparado com o processo do fluxo de trabalho BIM .

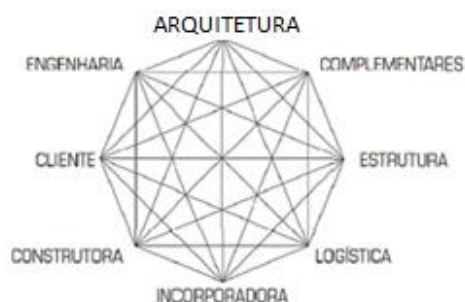


Figura 6 - Fluxo de trabalho no processo tradicional [85, p. 5].

O processo BIM do fluxo de trabalho, permite que um único modelo computacional BIM, relacione todas as disciplinas diretamente, assim o fluxo de trabalho deixa de ser fragmentado e passa a ser integrado e simultâneo. Desse modo, se o setor de arquitetura discutir e realizar alguma modificação com o setor de engenharia, o demais setores serão comunicados automaticamente, assim podendo concordar com a modificação ou não simultaneamente, como ilustrado na Figura 7 [85, p. 5], [86, p. 22].



Figura 7 – Fluxo de trabalho no processo BIM [85, p. 5].

Portanto, para que a interoperabilidade aconteça, os diversos *softwares* utilizados precisam compartilhar os dados entre si, sem que haja incompatibilidade, pois, a necessidade de repetir a introdução de dados no *software* causa um desperdício de tempo. Assim, para evitar esses problemas de incompatibilidade, a empresa sem fins



lucrativos, buildingsSMART, desenvolveu um formato de arquivo padrão chamado IFC (*Industry Foundation Classes*), o qual é definido pela norma ISO 16739 de 2013, com o objetivo de permitir o compartilhamento de modelos informativos entre *softwares*, sem que haja a perda ou distorção de dados ou informação, mas apesar de ser um formato de arquivo padronizado, não é possível afirmar que o compartilhamento de dados, esteja isento de erros [81, p. 451], [87].

Segundo J. G. A. Freitas [80, p. 21], as principais vantagens da utilização da metodologia BIM, são:

- Diminuição de erros de desenhos;
- A facilidade de realizar modificações em qualquer disciplina presente no projeto, através de um único modelo computacional;
- Possibilita a concepção de projetos mais elaborados, e de serem mais econômicos e consistentes;
- Possibilidade de quantificar os materiais utilizados;
- Visualização 3D completa do projeto, assim facilitando a compreensão visual do projeto;
- Elevado nível de produtividade, por integrar todas as disciplinas e de maneira simultânea, assim a estrutura é modelada uma única vez e pode ser usada por vários especialistas em diferentes fases do projeto;
- A criação do modelo virtual do projeto num único arquivo;
- A facilidade de realizar modificações futuras;

Entretanto, a metodologia BIM não possui somente vantagens, os autores J. G. A. Freitas[80, p. 21], D. G. Simões [75, p. 18] e R. F. O. Rodrigues [88, p. 8], listaram algumas desvantagens da utilização da metodologia BIM, que estão descritas a seguir:

- Necessidade de aquisição de *software* BIM;
- Mudança de mentalidade da equipa;
- Necessidade de formação dos futuros utilizadores;
- Necessidade de computadores mais potentes e com mais memória;



- Necessidade de maior detalhe do projeto por parte dos projetistas e dos construtores;
- Necessidade de predisposição para a mudança, incluindo a formação de novos utilizadores e o dispêndio de tempo para a sua implementação;
- Necessidade de investimento em *hardware* sofisticado e em *software* que possuem elevado custo (com respetivas atualizações);
- A utilização do BIM com todas as suas potencialidades, exige que os utilizadores dominem as ferramentas de planeamento, orçamento e gestão da manutenção;
- Ausência de uma padronização eficaz que torne interoperabilidade isenta de erros, aliada à ausência de normas e de *standards* que definam como e com que nível de detalhe devem ser elaborados os modelos;
- Escassez de bibliotecas (de materiais, equipamentos e dados) que suporte o modelo, sendo necessário cada empresa criar as suas próprias bibliotecas.

## 2.4 SOFTWARE BIM - REVIT®

A vários *softwares* BIM, como Graphisoft Archi CAD®, Bentley Architecture®, CypeCAD®, Tekla BIMsight®, EcoDomus®, Revit®, entre outros. Alguns desses *softwares* trabalham com uma única especialidade (disciplina), com isso a importância de eles serem *softwares* BIM e possuir a interoperabilidade, pois quando for necessário utilizar o modelo computacional em outra especialidade, como estruturas, não há a necessidade de refazer o modelo, mas somente exportá-lo no formato IFC e abri-lo no *software* BIM de interesse.

Com base no trabalho D. G. Simões [75, p. 15], em 2013 foi contabilizado a quantidade de *downloads* de arquivos BIM pelo *site* da National BIM Library, do Reino Unido, de diferentes *softwares*, e representando num gráfico as percentagens referentes *softwares* BIM com os formatos mais descarregados, como mostrado na Figura 8.

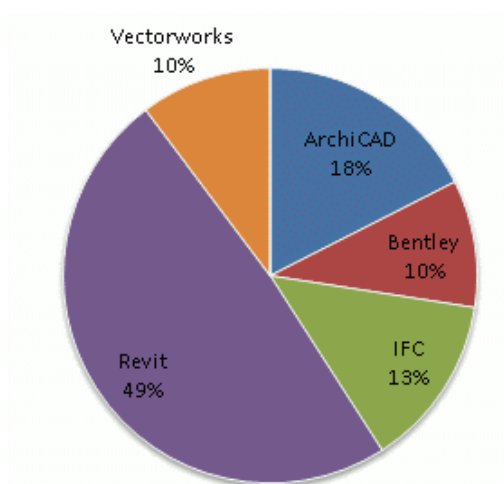


Figura 8 - Percentagem de *downloads* de objetos BIM efetuados através da National BIM Library [75, p. 15].

A Figura 8, mostra que o formato de arquivo BIM que mais foi realizado *download* foi o do Revit®, com 49% dos *downloads* realizados. Isto mostra que o Revit® possui um grande número de usuários perante aos outros *softwares* BIM, assim confirmando o cenário que ele é uns dos *softwares* BIM mais conhecidos.

O Revit® é uma solução para o BIM colaborativo, que permite o compartilhamento de trabalhos, onde vários membros de um grupo de projeto podem trabalhar simultaneamente. Segundo a Autodesk® [89, p. 134], através do seu relatório anual de 2017, afirma que o Revit® possui o objetivo de auxiliar os profissionais a projetar, construir e manter edifícios de maior qualidade e mais eficientes em relação aos consumos energéticos.

O Revit®, até a sua versão 2013, era comercializado separadamente entre as especialidades de arquitetura, estruturas e MEP (*Mechanical, electrical, and plumbing* – Mecânica, Elétrica e Hidráulica), respetivamente em Revit Architecture®, Revit Structure® e Revit MEP®, mas após a versão 2013, os três tipos de Revit® foram integrados num único *software*, mas que ainda mantêm as divisões das disciplinas através dos menus Arquitetura, Estrutura e Sistemas [90, p. 26].

O Revit Architecture® atualmente possui as suas funções na aba Arquitetura do menu do Revit® no idioma português, fornece as opções de modelagem de paredes, janelas, portas, escadas, tetos, colunas arquitetónicas, entre outros elementos arquitetónicos, e permiti a adição de texturas nos elementos arquitetónicos e detalhá-los, por exemplo, é possível dividir uma parede em camadas, como reboco, acabamento, e isolamentos, além de possuir funções para definir os ambientes do modelo tridimensional, como tipo “Sala” ou “Espaço”, realizar medições de áreas, identificar os ambientes do edifício representados no modelo tridimensional com *tag*, entre outras funções [90, p. 26].

O Revit Structure® esta presente na aba Estruturas, que geralmente é utilizado após o término da modelagem do modelo arquitetónico, possui as funções parede estrutural,

pilar estrutural, vigas, treliças, adicionar a armadura num pilar (ferro ou verguinhas), entre outras funções [90, p. 27].

O Revit MEP®, atualmente possui as suas funções na aba Sistema, permite a modelagem de elementos que envolvem as áreas de mecânica, elétrica e hidráulica, como sistemas de climatização, condutas, cabos, caminho de cabos, calhas elétricas, tubagens, luminárias e outros elementos que são utilizados por essas especialidades [90, p. 28].

Todos os elementos que compõem o modelo são considerados famílias paramétricas para o Revit®, sendo que essas famílias podem ser genéricas ou personalizadas, elas se dividem em três tipos, sendo as **famílias do Sistema, famílias Carregáveis e famílias no Local**. As **famílias do Sistema** são predefinidas pelo Revit®, como parede, telhado, teto falso, piso, portanto essas famílias não podem ser criadas, apenas versões modificadas denominadas “tipo” [90, p. 24], [91] .

As **famílias Carregáveis** são compostas por componentes de construção, como janelas, portas, componentes de gabinete, acessórios, mobília e vegetação, além dos elementos de MEP, anotação, símbolos, blocos de margens e carimbo. Este tipo de família permite ser criadas, modificadas e exportadas e importadas em formato .rfa, e carregá-las no modelo virtual. As famílias que possuem muitos tipos geralmente sobrecarregam o projeto de elementos desnecessários, com isso pode-se utilizar o catálogo de tipos de família para selecionar e carregar somente os tipos que serão utilizados, deixando o arquivo do modelo virtual do projeto mais leve. Os elementos que forem criados dentro do próprio arquivo do projeto são considerados elementos de **famílias no Local**, essa família possui as mesmas ferramentas de Editor de família ao criar uma família carregável [90, p. 24], [91].

O Revit® também possui as ferramentas de simulação estrutural e energética, sendo que neste trabalho será abordado somente a função de análise energética (simulação dinâmica), que é executada através do serviço em nuvem chamado de Green Building Studio®, o qual permite realizar análise de emissão de carbono anual, carga de aquecimento mensal, carga de resfriamento mensal e o consumo anual de energia. A simulação energética também reconhece elementos modelados como volume conceptual, desse modo, o utilizador tem a possibilidade de modelar rapidamente um projeto e analisar as tendências dos consumos energéticos, e testar modificações, por exemplo, relacionadas as propriedades das janelas e/ou das claraboias. Os resultados das simulações energéticas são apresentados num relatório, onde os dados de saída são apresentado na sua grande maioria através de gráficos, e automaticamente, são testadas algumas alternativas padronizadas pela Autodesk® em relação ao edifício simulado [92, p. 104].

O autor A. R. Rech [93, p. 3] escreveu em seu trabalho algumas vantagens de se utilizar o Revit® em projeto de estruturas, as quais foram complementadas pelo manual online do Revit® [94], e estão listadas a seguir:

- **Velocidade:** por causa dos elementos de modelagem serem constituídos por famílias paramétricas, o tempo de modelagem é otimizado, porque é extremamente fácil modificar as dimensões dos elementos. O Revit® também possui análise estrutural, assim não sendo necessário criar novos modelos em *softwares* que realizam cálculos estruturais, desse modo, economizando tempo;
- **Entendimento:** o Revit® possui boas funções de visualização 3D, como as funções *walkthrough* (percurso virtual) e câmara, a primeira função permite criar um vídeo de percurso virtual, e a câmara permite criar vistas para renderização e perspectivas, assim auxiliando a representação de detalhes e facilitando o entendimento do projeto;
- **Quantificação:** o Revit® possui planilhas customizáveis que permitem quantificar elementos construtivos, objetos, dados referentes a simulação dinâmica energética, dos sistemas de iluminação e climatização, além de planilhas de custos e informações gerais, como fabricante, modelo, peso. Também é possível cruzar os dados de várias planilhas, adicionar equações e fórmulas com estruturas de decisão, como SE, OU, SE NÃO, e de criar planilhas para importarem valores de planilhas do *software* Excel® para a parametrização de famílias do Revit®. Portanto, facilitando o usuário por centralizar todos os dados e informações do modelo em planilhas que podem ser modificadas;
- **Detalhe:** o Revit® permite um elevado nível de detalhe do modelo 3D e plantas 2D, pois ele possui funções que permitem a criação de superfícies complexas e que auxiliam na criação do desenho 2D. O *software* possui três níveis de detalhamento para a visualização, básico, médio e alto, assim tornando os elementos visíveis mais simples e leves para computadores com pouca capacidade;
- **Informação:** por ser um *software* BIM, o Revit® permite que cada elemento construtivo receba grande quantidade de informações que podem ser visualizadas selecionando os elementos ou através da criação de planilhas, dessa forma aumentando a confiabilidade do projeto;
- **Identificação de elementos não suportados:** na simulação de análise estrutural, com as linhas analíticas da modelagem, pode-se perceber a interação entre elementos como ligações e alinhamentos, além de poder definir as cargas e as combinações entre elas para próximas análises estruturais;

- **Visualização da ferragem:** o Revit® permite a visualização das ferragens dentro dos elementos construtivos de maneira fácil, facilitando a identificação de interferências;
- **Trabalho em equipe:** o Revit® possui a função *Work Set*, a qual permite que vários profissionais possam adicionar, excluir e modificar o modelo numa mesma plataforma de trabalho;
- **Personalização:** a facilidade de personalização de unidades, padrões, visualizações, códigos e normas, no projeto;
- **Renderização:** a qualidade e a facilidade de se realizar renderizações do projeto, que pode ser realizada no computador local ou por nuvem (inclui taxas de utilização por nuvem);
- **Janelas do tipo “tile”:** o *software* permite abrir várias vistas 3D ou plantas baixas simultaneamente, assim facilitando a visualização de alterações de estruturas sob diversos pontos de vista ou na inserção e modificação de elementos.

Segundo A. R. Rech [93, p. 4], algumas vantagens de se utilizar o Revit® na fase de planejamento do projeto estão listadas a seguir:

- **Pré-construção:** se realizado uma modelagem real do projeto é possível antecipar os problemas referentes a interferência na estrutura, arquitetura, e nas instalações de equipamentos, assim possibilitando que se faça as modificações necessárias antes do início da construção do edifício ou da instalação de equipamentos;
- **Interoperabilidade:** por ser um *software* BIM, como comentado anteriormente, o Revit® permite a interoperabilidade entre outros *softwares* AEC Autodesk® (AEC - *Architecture, Engineering and Construction*), como AutoCAD®, AutoCAD® Architecture, AutoCAD® MEP, AutoCAD® Structural Detailing, Autodesk® Showcase®, Autodesk® SketchBook® Designer, Autodesk®, Autodesk® 3ds Max® Design, Autodesk® Navisworks® Manage, Autodesk® Quantity Takeoff, entre outros.

O Revit® foi escolhido para a realização das simulações dinâmicas presentes neste trabalho, devido as vantagens de ser um *software* BIM, e de suas próprias características, além de ser um dos *softwares* BIM conhecido, de envolver diversas especialidades na mesma interface, possuir licença estudantil com a disponibilidade de todas as funcionalidades do Revit®, exceto as funções colaborativas, e devido a

simulação dinâmica ser executada nos servidores da própria Autodesk®, assim não havendo a necessidade de se utilizar computadores de alto desempenho.

## 2.5 GREEN BUILDING STUDIO®

O Revit® utiliza o serviço *web* Green Building Studio® (GBS) para realizar as simulações dinâmicas energéticas de edifícios, o qual executa o processamento dos dados em nuvem, nos próprios servidores da Autodesk®. Assim, otimizando o tempo computacional para a execução das simulações dinâmicas de maneira significativa em relação outros *softwares* que fazem o processamento local (no próprio computador que o *software* estiver instalado) [95].

Segundo a Autodesk® [95], o objetivo do GBS é auxiliar arquitetos e *designers* realizarem análises de desempenho dos edifícios, com a finalidade de melhorar o *design* do edifício, além de auxiliar na otimização dos consumos energéticos, e da utilização água.

O GBS utiliza como base para as simulações dinâmicas energéticas o *software* DOE-2.2, o qual possui interoperabilidade com arquivos do formato .gbXML. Desse modo, quando é iniciado uma simulação energética no Revit® é criado um modelo de energia, o qual é exportado automaticamente para o GBS.

Alguns dados de entrada da simulação dinâmica possuem valores padronizados no Revit®, mas permitindo que o utilizador escolha as opções disponíveis entre os valores padronizados ou informá-los, sendo em relação aos **elementos de construção** (paredes, pisos, telhados, janelas e claraboias); aos **perfis de ocupação, e de utilização dos sistemas de iluminação e equipamentos**, que podem ser selecionados pelo tipo de edifício ou definidas por cada ambiente; a escolha do tipo de edifício; as opções para os sistemas de climatização; e os valores de infiltrações, são baseados nas amostragens realizadas pelo CBECS (*Commercial Building Energy Consumption Survey*), o qual realiza pesquisa de amostragem nos Estados Unidos da América (EUA) sobre os edifícios comerciais coletando diversas informações, por exemplo, as características de construção e os consumos energéticos dos edifícios [96, p. 21], [97].

Os dados de entrada referente a simulação dinâmica que o utilizador não possui a permissão de alterar são baseados em dados do CBECS, e das normas ASHRAE 90.1, ASHRAE 90.2, e ASHRAE 62.1, sendo que os dados de entrada podem variar conforme o tipo do edifício definido nas configurações da simulação dinâmica, localização, tamanho, e números de pisos [97].

A norma ASHRAE 90.1 fornece padrões mínimos em relação a eficiência energética em edifícios, exceto para edifícios residenciais que são fornecidos pela norma ASHRAE 90.2, por meio de orientações para que os edifícios residenciais de baixa elevação alcancem os valores mínimos de eficiência energética. A norma ASHRAE 62.1 fornece

padrões mínimos para os sistemas de ventilação em relação a qualidade do ar interior dos edifícios [96, p. 21].

Os dados de entrada das simulações dinâmicas que não possuem referências nas normas ASHRAE, e que não podem ser informados pelo utilizador, são baseados nos resultados das pesquisas e normas listadas a seguir [97]:

- **Tabelas de operação do edifício:** com base no estudo referência (*baseline*) de construção nova não residencial na Califórnia em 1999;
- **Características térmicas da envolvente, LPD (*Lighting Power Densities* – Densidade de energia de iluminação), e eficiência:** são retirados das normas ASHRAE 90.1 2007 e ASHRAE 90.2 2007;
- **Densidade de potência de equipamentos e de cargas de água quente sanitária:** baseado no título 24 do Código de Regulamentos da Califórnia, do Estado da Califórnia dos EUA, chamado Código de Normas de Construção da Califórnia de 2005;
- **Densidade de ocupação, e ventilação:** com base na norma ASHRAE 62.1 2007;
- **Tipo de sistema de climatização padrão para o tipo de edifício, tamanho, e outras características de construção diversas:** os dados utilizados são baseados nas pesquisas realizadas pelo CBECS.

O Green Building Studio®, além de calcular o consumo energético anual do edifício, também estima a quantidade de carbono que será emitido pelo edifício, quantifica os créditos referentes à certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), estima a quantidade de água que será utilizada pelo edifício, e estima a quantidade de energia elétrica que poderá ser produzida através de sistemas fotovoltaicos, e o potencial de ventilação natural do edifício [92, p. 104].

## 2.6 ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

Com o objetivo de minimizar os consumos de energia, materiais, superfície do solo e água durante a construção e funcionamento dos edifícios, os arquitetos e engenheiros recorrem as **estratégias passivas ou ativas, ou ainda, os sistemas híbridos**. Estas estratégias possuem a finalidade proporcionar o aumento da eficiência energética dos edifícios, garantindo o conforto térmico dos seus ocupantes. Entretanto, dependendo da fase em que o edifício se encontra, como em projeto, construção ou funcionamento, existe a possibilidade de aplicar ou não de se aplicar algumas dessas estratégias.



Segundo o *site* da Autodesk® [98], as **estratégias passivas** estão relacionadas com a utilização de fontes de energia do “ambiente” para a realização de aquecimento, arrefecimento e ventilação, sendo alguns exemplos o aproveitamento: da radiação solar para aquecimento de ambientes em edifícios; da diferença de temperatura numa noite fresca de verão que possibilita a existência de uma diferença de pressão entre o ambiente interno e externo do edifício, criando uma corrente de ar do ambiente externo para o interno do edifício, devido o ar quente do interior do edifício possuir densidade menor que o ar frio do ambiente externo, ele pode sair através de aberturas na cobertura, e o ar frio, entrar pelos vãos mais baixos, como janelas, assim arrefecendo os ambientes interior do edifício; da possibilidade de se armazenar energia térmica solar através da massa térmica do edifício. Em suma, promover o conforto e a qualidade do ar interior através do uso de elementos de construção em plena articulação com o microclima local, como paredes grossas, instalação de claraboias, tetos altos, posicionamento de janelas, portas e aberturas para o exterior.

O autor N. Bhatt [99] expõe algumas estratégias passivas de construção de edifícios dividindo-as em quatro grupos, e as diferenciando em relação ao tipo de edifício aplicado, sendo entre edifícios comerciais e residências. Os quatros grupos são: **1 – aquecimento passivo, 2 – ventilação passiva, 3 – arrefecimento passivo, e 4 – daylighting.**

As estratégias relacionadas ao **aquecimento passivo** basicamente se resumem no aproveitamento dos ganhos de calor solar para o aquecimento dos ambientes do edifício, com o objetivo de garantir o conforto térmico dos ocupantes, assim não havendo a necessidade da utilização de sistemas de aquecimento. Segundo N. Bhatt [99], os principais pontos que contribuem para o aquecimento passivo estão listados a seguir:

- Orientação do edifício;
- Geometria da arquitetura do edifício;
- Utilização de espaços tampão e fachadas duplas;
- Planejamento dos espaços;
- Janelas de alto desempenho (transparentes, e *low-e*);
- Razão pequena entre a área da janela e a parede das direções norte e leste (para edifícios localizados no hemisfério norte);
- Razão grande entre a área da janela e parede das direções sul e oeste (para edifícios localizados no hemisfério norte);



- Sombreamento externo do edifício que permite ser controlado (sistema de proteção solar móvel);
- Isolamento de alto desempenho;
- Utilização de elementos de construção que aumente a massa térmica do edifício;
- Edifício com baixa infiltração.

As estratégias de **ventilação passiva** utilizam as correntes de ar para substituir o ar interno do edifício por ar externo, através da diferença de pressão criada pela diferença de temperatura entre o ar interno e externo do edifício, assim criando uma corrente de ar natural que irá substituir o ar interno dos ambientes do edifício por ar novo (ar externo). Segundo N. Bhatt [99], os pontos que contribuem para a ventilação passiva são:

- Janelas que permitem serem abertas e fechadas;
- Utilização de espaços tampão e fachadas duplas;
- Geometria da arquitetura do edifício;
- Planejamento dos espaços;
- Orientação do edifício;
- Estratégias de construção relacionadas a arquitetura;
- Átrios centrais e antecâmara;
- Torres de vento.

O **arrefecimento passivo** geralmente é aplicado quando existe a necessidade de arrefecimento do ambiente resultado do ganho de calor solar, do calor liberado dos ocupantes, e/ou dos equipamentos em funcionamento. O arrefecimento passivo pode acontecer de diversos modos, por exemplo, através da substituição do ar quente interno por ar frio externo do edifício; pela massa térmica do edifício, que pode servir de amortecedor térmico, assim diminuindo o impacto das variações nas condições internas e externas, absorvendo o calor quando as temperaturas aumentam, e o libertando quando a temperatura do interior do edifício for mais baixa, assim contribuindo na estabilidade da temperatura interna do edifício, que está diretamente

relacionada ao conforto térmico dos ocupantes. Segundo N. Bhatt [99], os pontos que contribuem para o arrefecimento passivo estão listados a seguir:

- Sombreamento externo fixo ou móvel;
- Massa térmica do edifício;
- Razão pequena entre a área da janela e a parede das direções sul e oeste (para edifícios localizados no hemisfério norte);
- Ventilação passiva;
- Arrefecimento noturno;
- Arrefecimento evaporativo.

O **daylighting** abrange as estratégias que buscam otimizar a utilização da luz solar direta e difusa na iluminação dos ambientes do edifício, assim criando uma possibilidade de poupança energética por meio da diminuição do consumo de energia elétrica relacionados aos sistemas de iluminação artificiais, sendo que esta estratégia foi abordada com maior relevância nas secções “2.7 ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE ILUMINAÇÃO NATURAL - *DAYLIGHTING*” e 2.8 “SISTEMAS DE CONTROLO DA ILUMINAÇÃO NATURAL - *DAYLIGHTING*”. Segundo N. Bhatt [99], os pontos que contribuem para a aplicação do *daylighting* são:

- Planejamento dos ambientes dos edifícios;
- Ambientes com tetos altos, e janelas altas (localizadas próximas ao teto);
- Cores e acabamentos superficiais do interior dos ambientes do edifício;
- Estratégias de construção relacionadas a arquitetura;
- Proteções solares, como *brise-soleil* ou palas;
- Claraboias e tubos de luz;
- Presença de clerestório (parede iluminada naturalmente por um conjunto de janelas laterais do andar superior das igrejas do estilo gótico).

Ao contrário das estratégias passivas, as **estratégias ativas** utilizam equipamentos que consomem alguma forma energia, geralmente é a energia elétrica, para alcançar os mesmos objetivos estabelecidos, como o conforto térmico ou controle de iluminação,

de maneira imposta (ativa) através dos equipamentos como ventiladores, ar-condicionado, aquecedores, luzes elétricas, painéis radiantes ou vigas arrefecidas, sensores de presença para o controlo automático dos sistemas de iluminação, entre outros [98].

Os **sistemas híbridos** utilizam os equipamentos presentes nas estratégias ativas, com a finalidade de melhorar o desempenho das estratégias passivas, assim criando os sistemas híbrido, como por exemplo um sistema de ventilação com recuperação de calor, sistemas solares térmicos, bombas de calor geotérmicas, entre outros sistemas [98].

Portanto, na realização de um projeto de edifício, as estratégias passivas devem ser sempre as primeiras a serem estudadas, pois elas não requerem consumos energéticos para que cumpram com os seus objetivos, como ocorre com as estratégias ativas e os sistemas híbridos.

Assim, dentro do contexto de medidas de otimização energética e das estratégias ativas e passivas que podem ser utilizadas em edifícios, o autor P. B. Andrade [100, p. 9] listou em seu trabalho as principais características que devem ser analisadas antes de se definir as medidas de otimização energética dos edifícios, as quais estão listadas a seguir:

- Presença de humidade;
- O revestimento térmico das envolventes opacas, e a presença de pontes térmicas localizadas nas regiões com maior transferência de calor;
- Desempenho térmico dos elementos envidraçados, como janelas e portas, em relação a resistência térmica, coeficiente de ganho de calor solar e na infiltração de ar por esses elementos;
- Analisar se as proteções solares dos vãos envidraçados conseguem regular a carga térmica nas estações mais quentes;
- Eficiência no controlo do sistema de ventilação, com objetivo de regular os níveis de humidade relativa e a temperatura nos ambientes do edifício, pois a humidade relativa aumenta a condutividade térmica na maioria dos materiais isolantes, assim diminuindo a eficiência térmica dos revestimentos térmicos, além de aumentar o risco a saúde dos ocupantes do edifício devido o favorecimento do aumento do número de bactérias nos ambientes;
- Gestão da utilização do edifício, como analisar os estados de conservação das janelas e portas, e utilizar sistemas de climatização somente em ambientes que for necessário.

P. B. Andrade [100, p. 9] lista algumas medidas de eficiência energética para edifícios já existentes, as quais estão listadas a seguir:

- Melhorar os isolamentos térmicos e os sistemas de controlo de ganhos solares;
- Controlo referente as infiltrações de ar nos edifícios, por exemplo, através do melhoramento nas vedações das caixilharias das janelas exteriores, que permitem a passagem de ar indesejada;
- Utilização de proteções solares passivas, como cores claras nas paredes exteriores, aumento da ventilação natural, arrefecimento evaporativo e o arrefecimento passivo.

Assim, entre as possíveis medidas de melhoria energética citadas por P. B. Andrade [100, p. 9], este trabalho focou no controlo de luz natural, estratégia conhecida em inglês como *daylighting*, na melhoria da transmissão térmica das envolventes, nos tipos de sistemas de climatização, e de uma possível instalação da energia solar através da instalação de painéis fotovoltaicos.

## 2.7 ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE ILUMINAÇÃO NATURAL - *DAYLIGHTING*

Segundo G. D. A. Faia [101], o *daylighting* é uma estratégia de controlo de entrada de luz solar direta e difusa num edifício, com a finalidade de diminuir o consumo de energia elétrica referente a iluminação artificial, assim conseguindo realizar poupanças energéticas. E que pode ser aplicada em quase todos os climas, e em todos os tipos de edifícios, como escritórios, salas de aula, ginásios, centros de media ou comunicações, pequenas lojas, hospitais, bibliotecas, armazéns, entre outros.

Portanto, G. D. A. Faia [101] afirma que a prática de *daylighting* não é apenas fornecer uma iluminação natural adequada para os ambientes do edifício, mas de aplicá-la de modo que não haja efeitos indesejáveis, através da quantidade de brilho, do ganho e perda de calor, e das variações na distribuição de luminosidade durante o dia, para tornar o ambiente visualmente estimulante e produtivo.

A Autodesk®[102], no seu *site* Autodesk Sustainability Workshop, explica a diferença entre a **luz solar direta** e a **luz natural** (ou luz do dia - *daylight*), sendo que a luz solar ocorre através da incidência direta da luz proveniente do sol num ambiente, esse tipo de luz é indesejada na maioria dos projetos, por possuir uma grande intensidade luminosa, e aquecer o ambiente através da transferência de calor por irradiação. Por outro lado, a iluminação por *daylight* é a luz natural difusa do céu, desse modo ela possui uma distribuição uniforme que evita o brilho excessivo, e os efeitos negativos da luz solar direta.

Portanto, a implementação do *daylighting* não é somente introduzir janelas, claraboias e aberturas que permitem a incidência de luz solar, mas a realização de um estudo que envolva a forma do edifício, clima, localização, sistemas de controlo de iluminação, tamanho e espaçamento das janelas, tipo do vidro a ser utilizado, refletância dos acabamentos internos, e os critérios pré-estabelecidos de projeto. Consequentemente, um bom sistema de iluminação natural depende da arquitetura do edifício, da tecnologia e dos sistemas de controlo de luz utilizados[101].

O autor G. D. A. Faia [101] lista e comenta alguns tipos de tecnologias e métodos de construção para que um sistema de iluminação natural seja bem-sucedido, as quais estão listadas a seguir:

- **Sombreamento externo e dispositivos de controlo:** recomendado para climas quentes, por conseguir reduzir os ganhos térmicos solar e a luz natural difusa, antes de incidir no ambiente. Por exemplo, prateleira de luz (*light shelves*), persianas horizontais (*horizontal louvers*), persianas verticais (*vertical louvers*), e sistemas de reflexão com rastreamento dinâmico;
- **Materiais envidraçados:** aumentar a área envidraçada é a maneira mais simples de aumentar a incidência de luz natural num ambiente. Entretanto, há três características de elementos envidraçados que devem ser analisados para a escolha do tipo de vidro, sendo elas: o **coeficiente de transmissão térmica** – que representa a taxa de transferência de calor, o **coeficiente de sombreamento** – que representa a proporção de ganho de calor através de materiais envidraçados para o ambiente interno do edifício, permitindo realizar comparações, por exemplo, entre janelas com duplo vidro e janelas simples, e a **transmissão de luz visível** – um fator de medida da quantidade de luz visível transmitida através de materiais envidraçados;
- **Localização dos vãos (aberturas):** a utilização de aberturas laterais nos edifícios, geralmente localizadas acima das janelas permitem que a luz natural entre no ambiente e auxilia na ventilação passiva. De maneira geral, a profundidade da incidência de luz no ambiente é aproximadamente duas vezes e meia a distância entre o topo de uma janela e o peitoril;
- **Refletância das superfícies da sala/ambiente:** a refletância ou fator de reflexão, é a percentagem entre o fluxo luminoso refletido por uma superfície e o fluxo luminoso incidente por ela, este valor varia em função das cores, acabamento superficial e das características de refletância da superfície. Portanto, a refletância influencia diretamente o desempenho da iluminação natural. Segundo G. D. A. Faia [101], o recomendado é que o teto tenha uma refletância maior que 80%, as paredes com valores acima de 50%, e o piso à volta de 20%, sendo que a refletância do piso tem a menor influência na penetração da luz natural;

- **Integração com controlo de iluminação elétrica:** um bom sistema de iluminação natural não está apenas relacionado com as arquiteturas dos edifícios, mas também com os sistemas de iluminação artificial, por meio de controlos de comutação, controlos escalonados e controlos de atenuação. Os controlos de comutação possuem somente a função de ligar e desligar as luminárias elétricas quando tiver luz natural suficiente para iluminar o ambiente. Os controlos escalonados controlam as lâmpadas individualmente dentro das luminárias, permitindo, desse modo, níveis intermédios da iluminação elétrica. E os controladores de atenuação modulam a entrada de energia das lâmpadas, criando, assim, níveis intermédios de iluminação com o objetivo de complementar a iluminação natural.

O autor L. Bachman [103], expõe no seu trabalho algumas vantagens e desvantagens sobre a utilização da técnica *daylighting*, as quais estão listadas a seguir:

- **Vantagens:**
  - Ambiente com uma visualização mais agradável;
  - Ambiente psicologicamente agradável;
  - Cores mais suaves;
  - Poupança energética;
  - Menor carga de refrigeração;
  - Ganho de calor no Inverno.
- **Desvantagens:**
  - Variabilidade da incidência de luz durante o dia;
  - Diminuição de privacidade (por exemplo, uma casa que possui uma grande janela transparente, permite que as pessoas que estiverem no exterior vejam o interior da casa);
  - Brilho da luz incidida no ambiente;
  - Ganho de calor no verão;
  - Abertura com baixo valor de resistência térmica.

## 2.8 SISTEMAS DE CONTROLO DA ILUMINAÇÃO NATURAL - DAYLIGHTING

O autor M. Kischkoweit-Lopin [104] classifica os diferentes sistemas de controlo de iluminação natural em dois tipos fundamentais: os **sistemas de sombreamento** e os **sistemas ópticos**. Os sistemas estão descritos em tabelas, as quais contêm ilustrações que representam cada tipo de sistema, além de informar o melhor clima para ser utilizado, e os critérios para a escolha de cada sistema, como se possui proteção contra brilho, se permite a visão externa do ambiente, se a iluminação pode ser guiada para o fundo da sala (ambiente interno do edifício), se a iluminação é homogênea, se há poupança de energia em relação à iluminação artificial, se há necessidade de rastreamento do movimento do sol, e a situação da disponibilidade (se o sistema já foi avaliado ou está em fase de teste). E a letra “D”, significa “Depende”, quando uma característica do sistema depende de uma aplicação específica, o M. Kischkoweit-Lopin [104] utiliza o seguinte exemplo, painéis prismáticos que cobrem a fachada completa não permitem a vista externa, mas se for instalado somente na parte superior da fachada, não há limitação.

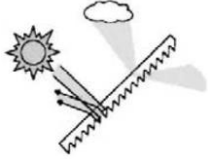
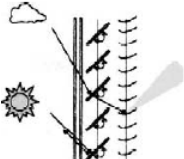
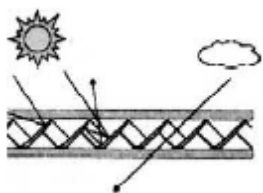

### 2.8.1 Sistemas de sombreamento

Segundo M. Kischkoweit-Lopin [104, p. 77], os sistemas de sombreamento possuem a finalidade de bloquear a luz solar direta e incidir luz difusa no ambiente, além de redirecionar a luz solar direta e a luz natural difusa. O uso de dispositivos de sombreamento convencionais para evitar efeitos de superaquecimento ou brilho também reduz o uso da luz do dia para tarefas visuais em ambientes fechados. Para aumentar o uso da luz do dia nestas circunstâncias, foram desenvolvidos sistemas de sombreamento que são capazes de redirecionar a luz difusa para o interior rejeitando ou difundindo a luz solar direta, que podem ser agrupados em: **sistemas de sombreamento primário usando claraboia difusa**, e **sistemas de sombreamento primário usando luz solar direta**.

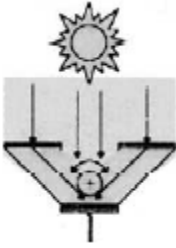
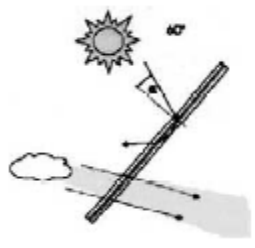
#### 2.8.1.1 *Sistemas de sombreamento primário usando claraboia difusa*

Os sistemas de sombreamento que utilizam claraboias difusas transparentes, para bloquearem a luz solar direta e permitir a incidência de luz natural difusa, estão ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Sistemas de sombreamento primário usando claraboia difusa [104, p. 78].

Sistema	Ilustração	Clima	Local de aplicação	Critérios para a escolha dos elementos
Painéis prismáticos		Todos os climas	Vertical janelas, claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção contra brilho (D);</li> <li>- Visão externa (D);</li> <li>- Potencial de poupança energética (Iluminação artificial);</li> <li>- Necessidade de rastreamento solar (D);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Prismas e venezianas		Climas temperados	Janelas verticais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção contra brilho;</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (Iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Elementos espelhados de proteção solar		Climas temperados	Claraboias, telhados de vidro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (Iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Abertura zenítica anidólica		Climas temperados	Claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção contra brilho;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (Iluminação artificial);</li> <li>- Teste.</li> </ul>



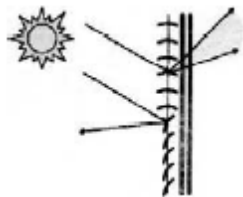
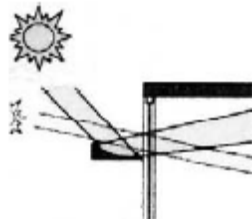
Sistema seletivo de sombreamento seletivo com concentração HOE (Holographic Optical Elements - Elementos ópticos holográficos)		Todos os climas	Janelas verticais, Claraboias, telhados de vidro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção contra brilho (D);</li> <li>- Visão externa;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Necessidade de rastreamento solar;</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Sistema de sombreamento transparente com HOE com base na reflexão total		Climas temperados	Janelas verticais, claraboias, telhados de vidro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção contra brilho (D);</li> <li>- Visão externa;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Necessidade de rastreamento solar;</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>

### 2.8.1.2 Sistemas de sombreamento primário usando luz solar direta

O segundo tipo de sistemas de sombreamento que difundem a luz solar direta ou a redirecionam para o teto ou acima do nível do olho, estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 - Sistemas de sombreamento primário usando luz solar direta [104, p. 79].

Sistema	Ilustração	Clima	Local de aplicação	Critérios para a escolha dos elementos
<i>Light guiding shade</i>		Climas quentes, céu ensolarado	Janelas verticais acima dos níveis dos olhos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção contra brilho;</li> <li>- Visão externa;</li> <li>- Luz guiada para o fundo</li> </ul>

						da sala (D); <ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminação homogénea (D);</li> <li>- Potencial de poupança (iluminação artificial) (D);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Louvers e persianas		Todos climas	os	Janelas verticais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção contra brilho;</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogénea;</li> <li>- Necessidade de rastreamento solar;</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>	
Prateleira de luz para o redirecionamento da luz solar		Todos climas	os	Janelas verticais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visão externa (D);</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogénea;</li> <li>- Potencial de poupança (iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>	

Vidros com perfil refletor (Okasolar)		Climas temperados	Janelas verticais, claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visão externa (D);</li> <li>- Proteção contra brilho (D);</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala (D);</li> <li>- Iluminação homogênea (D);</li> <li>- Coeficiente de ganho de calor solar variável;</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
---------------------------------------	--	-------------------	-------------------------------	--

Claraboia com painéis <i>Laser Cut</i>		Clima quente, céu ensolarado, baixas latitudes	Claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
--	--	--	------------	---

Lamelas giratórias		Climas temperados	Janelas verticais, claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção contra brilho (D);</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança</li> </ul>
--------------------	--	-------------------	-------------------------------	---

---

(iluminação artificial);

-

Necessidade de rastreamento solar;

- Avaliado.

---

## 2.8.2 Sistemas ópticos

Os sistemas ópticos não utilizam sombreamento, e sua finalidade principal é redirecionar a luz natural em locais no ambiente onde não há janelas e/ou claraboias, sendo que alguns sistemas podem ou não bloquear a luz solar direta.

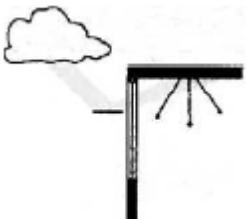

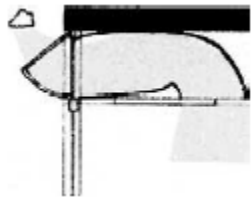
Este sistema se divide em quatro tipos, sendo eles:


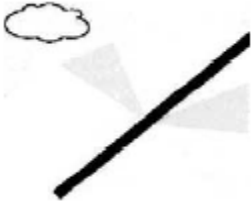
- **Sistemas de guia de luz difusa;**
- **Sistemas de guia de luz direta;**
- **Sistemas de dispersão de luz;**
- **Sistemas de transporte de luz.**

### 2.8.2.1 *Sistemas de guia de luz difusa*

Os sistemas de guia de luz difusa (Tabela 4), possuem a finalidade de aproveitar a luz natural da direção zenital, a qual sob cenário de céu nublado, pode ser aproximadamente três vezes mais brilhante que a luz natural da direção do horizonte, e redirecioná-la para o fundo do ambiente. Outra situação para se utilizar os sistemas de guia de luz difusa, é quando existem obstáculos externos altos, como prédios, que impedem a utilização de luz natural de direções próximas do horizonte, assim tornando a luz natural da direção zenital a única fonte de iluminação natural [104, p. 80].

Tabela 4 - Sistemas de guia de luz difusa [104, p. 80].

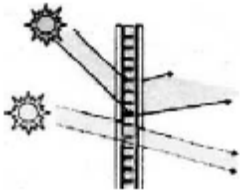
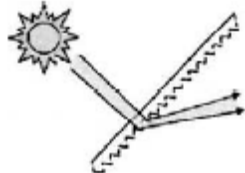

Sistema	Ilustração	Clima	Local de aplicação	Critérios para a escolha dos elementos
Prateleira de luz		Climas temperados, céus nebulosos	Janelas verticais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visão externa;</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala (D);</li> <li>- Iluminação homogênea (D);</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial) (D);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Sistema integrado anidólico		Climas temperados	Janelas verticais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visão externa;</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Teto anidólico		Climas temperados, céus nebulosos	Fachada vertical acima da visualização	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visão externa;</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de</li> </ul>

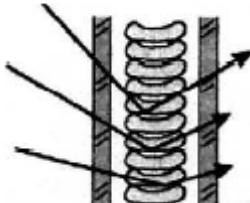
				<p>poupança energética (iluminação artificial);</p> <p>- Fase de teste.</p>
Sistema <i>Fish</i>		Climas temperados	Janelas verticais	<p>- Proteção contra brilho;</p> <p>- Visão externa;</p> <p>- Luz guiada para o fundo da sala;</p> <p>- Iluminação homogênea;</p> <p>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</p> <p>- Avaliado.</p>
Luz zenital guiada por elementos ópticos holográficos		Climas temperados, céus nebulosos	Janelas verticais (especialmente em pátios), claraboias	<p>- Visão externa;</p> <p>- Luz guiada para o fundo da sala;</p> <p>- Iluminação homogênea;</p> <p>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</p> <p>- Avaliado.</p>

### 2.8.2.2 Sistemas de guia de luz direta

Os sistemas de guia de luz direta (Tabela 5), direcionam a luz solar direta para o interior do ambiente sem que haja efeito de brilho excessivo e problemas de aquecimento. O problema de superaquecimento do ambiente pode ser evitado, se o sistemas de guia de luz direta for aplicado numa pequena parte da fachada exterior, e no restante da fachada ser aplicado sistemas de sombreamento, assim evitando carga de arrefecimento no ambiente [104, p. 81].

Tabela 5 - Sistema que guiam luz direta [104, p. 81].

Sistema	Ilustração	Clima	Local de aplicação	Critérios para a escolha dos elementos
Painel de <i>Laser Cut</i>		Todos os climas	Janelas verticais, claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visão externa (D);</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Painéis prismáticos		Todos os climas	Janelas verticais, claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visão externa (D);</li> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Elementos ópticos holográficos em		Todos os climas	Claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visão externa;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Luz guiada para o</li> </ul>

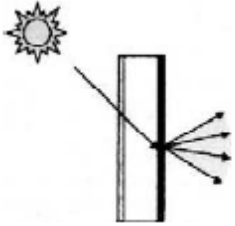
claraboia				fundo da sala (iluminação artificial);
				- Avaliado.
				- Proteção contra brilho;
				- Visão externa;
				- Luz guiada para o fundo da sala;
Vidro guiando luz		Todos os climas	Janelas verticais, claraboias	- Iluminação homogênea;
				- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);
				- Avaliado.

### 2.8.2.3 Sistemas de dispersão de luz

Os sistemas de dispersão de luz (Tabela 6), como o próprio nome já indica, são projetados para distribuir de maneira uniforme a luz natural. Segundo M. Kischkoweit-Lopin [104, p. 81], este tipo de sistema óptico é muito vantajoso para ser utilizado em ambiente com iluminação superior, como claraboias e aberturas verticais, mas podendo haver problemas com o brilho, com isso a localização da instalação deve ser analisada com atenção ou utilizar um outro sistema para controlar o brilho excessivo.



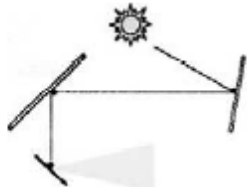
Tabela 6 - Sistemas de dispersão de luz [104, p. 81].

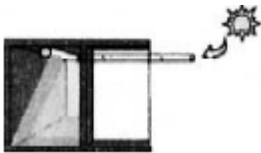

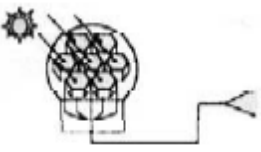
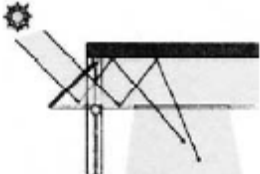
Sistema	Ilustração	Clima	Local de aplicação	Critérios para a escolha dos elementos
Sistemas de dispersão (vidro difusor de luz, vidro capilar, vidro fosco)		Todos os climas	Janelas verticais, claraboias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (Iluminação artificial);</li> </ul>

#### 2.8.2.4 Sistemas de transporte de luz

Os sistemas de transporte de luz (Tabela 7), possuem a finalidade de coletar e direcionar a luz solar através de longas distâncias para ambientes que não possuem janelas ou outra abertura para entrada de luz solar, e também pode ser utilizado para o transporte de luz artificial no período da noite [104, p. 82].

Tabela 7 – Sistemas de transporte de luz [104, p. 82].

Sistema	Ilustração	Clima	Local de aplicação	Critérios para a escolha dos elementos
Helióstato		Todos os climas, céus ensolarados	Telhado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Potencial de poupança energética (Iluminação artificial);</li> <li>- Necessidade de rastreamento solar;</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>

Tubo de luz		Todos os climas, céus ensolarados	Telhado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Tubo solar		Todos os climas, céus ensolarados	Telhado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Fibras ópticas		Todos os climas, céus ensolarados	Telhado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luz guiada para o fundo da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de poupança energética (iluminação artificial);</li> <li>- Necessidade de rastreamento solar;</li> <li>- Avaliado.</li> </ul>
Teto guiando luz		Climas temperados, céus ensolarados	Telhado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Guia de luz na profundidade da sala;</li> <li>- Iluminação homogênea;</li> <li>- Potencial de</li> </ul>

---

poupança  
(iluminação  
artificial);

- Pesquisa e  
desenvolvimento.

---

### 2.8.3 Tubos solares

Como abordado na secção anterior, os tubos solares são um sistema óptico de transporte de luz, utilizados em estratégias *daylighting*, e segundo M. Kischkoweit-Lopin [104] podem ser aplicados em qualquer clima, mas a sua eficiência está diretamente relacionada com a disponibilidade de luz natural e a altura solar, para que ocorra a captação da luz natural, e seja transportada para o interior do edifício.

Desse modo, um tubo solar que possui um bom desempenho precisa guiar a luz natural captada através de um tubo revestido por material refletor, cujo a finalidade é diminuir a dispersão da luz solar, assim minimizando as perdas referentes a iluminação e possibilitando que a luz seja guiada por distâncias consideráveis, sem que haja transmissão térmica [105].

Segundo a empresa Chatron® [105], os tubos solares podem ser instalados em vários edifícios, como casas, escritórios, ginásios, pavilhões desportivos, fábricas, supermercados, armazéns, pavilhões industriais, anfiteatros, e em demais tipos de edifícios, e possui as seguintes vantagens:

- Capacidade de iluminação superior ao nível das janelas;
- Iluminação natural;
- Não há transferência térmica pelo tubo solar;
- Não necessita de limpeza ou manutenção;
- Resistência à radiação ultravioleta (UV);
- A inserção nas coberturas 100% fiáveis e garantidas;
- Possibilidade de instalação de acessórios (luz artificial, ventilação, regulador de intensidade de luz natural).

**Outra vantagem destacada pela empresa Polirigido Eco® [106], é que os tubos solares fornecem mais luz do que as claraboias, devido a luz natural que passa pela claraboia não ser guiada pela mesma,** com isso uma grande quantidade de luz é absorvida pelas paredes do vão do teto que fixa a claraboia, assim não iluminando o espaço de interesse. Enquanto, o tubo solar guia a luz natural captada através do tubo revestido com material refletor, assim obtendo um aproveitamento de luminosidade maior que os das claraboias, e por meio do difusor de luz, dispersando uniformemente a luz no ambiente.

Segundo J. Mota [107, p. 45], os pontos fundamentais num projeto de iluminação que utiliza tubos solares são: **iluminação, segurança estrutural, segurança contra incêndio, estanquidade em relação ao ar e à água, durabilidade e manutenção.** Em relação a **iluminação**, o tubo solar é utilizado principalmente para “iluminação ambiente”, que difere da “iluminação dedicada às atividades visuais”, assim durante o projeto luminotécnico é necessário analisar se a iluminação ambiente conjugada com a iluminação dedicada às atividades visuais não esteja prejudicando o conforto visual dos ocupantes.

A **segurança estrutural** refere-se a qualidade de fixação do tubo solar, e se a cobertura do edifício suporta o peso adicional dos tubos solares, além da necessidade da cúpula do tubo solar suportar as ações provenientes do seu uso normal, como o de possíveis acidentes que podem ser causados por chuva, neve, granizo, e de impactos mecânicos como queda de objetos ou pessoas, e da resistência em relação a variação de pressão do ambiente que pode causar problemas acústicos indesejados [107, p. 45].

O tubo solar também precisa ser **estanque ao ar e a água**, para que não entre água condensada ou proveniente de chuvas no ambiente do edifício, também em relação ao ar, para que não haja perdas térmicas por meio das correntes de ar que passariam pelo tubo solar, além do barulhos que iriam surgir devido a ventilação natural que poderiam diminuir o conforto acústico [107, p. 45].

Segundo J. Mota [107, p. 46], um dos pontos fundamentais do tubo solar para que seja considerado um bom investimento económico é em relação a sua **durabilidade**, ou seja, precisam possuir tempo de vida útil consideravelmente longo para que haja tempo suficiente para viabilizar e poupar recursos económicos após a sua instalação no edifício. Desse modo, a durabilidade está ligada com a **manutenção** do tubo solar, pois ele necessita ser durável em diversas situações, por exemplo, quando for necessário a realização de uma limpeza manual, o tubo solar não pode diminuir a sua eficiência ou vida útil, como os elementos que estão em contato com o ar, os quais precisam ser construídos com materiais duráveis e que facilitem a limpeza. Assim, a cúpula precisa ser fabricada por material liso, e com forma geométrica que permita a limpeza natural por meio da chuva e do vento, desse modo retirando as impurezas provenientes do ambiente externo que prejudicam a captação da luz natural.

### 2.8.3.1 Marcas de tubos solares disponíveis em Portugal

Segundo J. P. C. G. Mota [107, p. 28] existem duas marcas que fabricam tubos solares em Portugal, a Chatron® e a Velux®, e as empresas Polirigido Eco® e Teclusol® que representam a marca Solatube® em Portugal. A próxima secção aborda os diferenciais entre as três empresas fabricantes de tubo solares comentadas.

O sistema utilizado neste trabalho foi o da Solatube®, devido a empresa Polirigido Eco® ter disponibilizado os ficheiros fotométricos (.ies) dos modelos de tubos solares comercializados em Portugal.


#### 2.8.3.1.1 Chatron®

A Chatron® foi fundada em 1993, mas foi a partir de 1998 que começou a se destacar no mercado prestando o serviço de instalação, e posteriormente de importação e exportação de sistemas de climatização doméstica e industrial. Em 2007, inaugurou uma fábrica em Portugal, na zona industrial do Vale de Cambra, o que permitiu a Chatron® desenvolver e fabricar novos produtos e equipamentos nas áreas de climatização, ventilação, transmissão de iluminação natural e iluminação a LED integrada, sendo os principais produtos comercializados o tubo solar, ventilador solar fotovoltaico para aplicações residenciais e comerciais, painéis a ar quente modelo Solar-Vent-plus.

Os tubos solares fabricados pela Chatron® possuem a tecnologia MAX LIGHTING, que segunda a empresa permite grande captação da luz natural tanto em dias com o céu limpo ou nublado (encoberto), devido a sua capacidade de captar os raios solares de diversas direções, em diferentes posições do sol ao longo do dia (altura solar), e guia a luz captada através do tubo solar.

Os componentes do tubo solar fabricado pela Chatron® estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Componentes do tubo solar fabricado pela Chatron®.

Componente	Descrição
	<b>Cúpula</b> – fabricada em policarbonato com alta resistência a impactos, e recebem durante o fabrico um tratamento antiaderente. Também possui boa filtragem à radiação UV, não precisa de manutenção, e a limpeza é realizada por meio das condições climáticas, vento e chuva.



**Tubo solar** – a camada exterior é constituída por alumínio, e a camada interior por prata laminada a quente, com refletividade superior a 99,7%, assim permitindo o transporte de luz em distâncias consideráveis, com pouca perda de luminosidade, sendo que já há tubos solares instalados com o comprimento de até 25 m, e com perdas inferiores a 20%.



**Registo** – registo de entrada de luz possui um modelo manual e um por comando à distância por infravermelho. Assim, a sua finalidade é regular a quantidade de luz com base no interesse do ocupante do ambiente iluminado.



**Acessórios** – curvas refletoras que possuem a finalidade de desviar o tubo sem diminuir o desempenho do transporte de luz, com ângulos padronizados de 30°, 40° e 90°, mas podendo ser regulados. Os comprimentos adicionais de tubo são de 625 mm, 1.250 mm, e outras medidas através de pedido.



**Difusor** – possui a finalidade de distribuir a luz no ambiente. A Chatron possui variedade de modelos de difusores.



**Tubo Solar + LEDin + Consola de controlo de luz** – conjunto de componentes que possui lâmpadas LED instaladas no tubo solar para que haja iluminação durante 24 horas.

Além do modelo comum de tubo solar, o qual possui os componentes apresentados na Tabela 8, a Chatron® possui outras versões para os seus tubos solares que aumentam a gama de funcionalidades, como:

- A possibilidade de ventilação e tubo solar na mesma prumada de condutas;
- Registo *on/off* ou motorizado posicional para regulação da quantidade de luz para interligação à domótica do edifício;
- Tubo solar com *kit* de iluminação natural – Alimentação autónomo fotovoltaica.

Para o dimensionamento presente num projeto de iluminação que se quer utilizar tubos solares, a Chatron® em parceria com a Universidade Portuguesa criaram os ficheiros fotométricos (.ies) que representam o funcionamento dos tubos solares nas situações de céu limpo, com luminâncias iguais a 120.000 lux e a 80.000 lux, céu com nuvens altas, com iluminância igual a 45.000 lux, para diversas horas do dia (ou seja, para diversos valores de altura solar), assim permitindo simular os tubos solares em *software* como DIALux® e Revit®.

O Chatron® possui seis modelos de tubo solar com diâmetros diferentes, e recomenda que o comprimento mínimo seja igual 1,5 maior que o diâmetro. Os modelos disponíveis de tubo solar da marca Chatron®, com as suas respetivas especificações técnicas, estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Modelos de tubo solares da Chatron® e suas especificações técnicas [105, p. 5].

Modelo	Diâmetro (mm)	Comprimento do tubo (mm)	Céu limpo com 120.000 lux medidas às 14h	Céu limpo com 85.000 lux medidas às 14h	Céu limpo com 45.000 lux medidas às 14h	Céu nublado com 20.000 lux medidas às 14h
TS 250	250	625	4.600	2.900	1.350	540
TS 300	300	625	6.900	4.200	1.940	770
TS 400	400	625	11.500	7.500	3.500	1.390
TS 530	530	625	20.000	13.000	6.350	2.500
TS 750	750	1.250	30.000	24.000	1.1620	5.300
TS 1000	1.000	1.250	53.000	37.000	2.4650	8.400

#### 2.8.3.1.2 Velux®

O Grupo Velux® começou a suas atividades em Portugal em 1992, localizada em Lisboa, sendo uma empresa de vendas e marketing. Os produtos mais comercializados são os túneis de luz (tubo solar), janelas de sótão, cortinas e estores, automação doméstica, acessórios, assistência e manutenção.

A empresa recomenda a instalação dos túneis de luz em *halls*, cozinhas, casas de banho, quartos, escritórios e locais onde não é possível instalar janela de sótão, e não recomenda a instalação do túnel de luz em salas de estar, cozinhas ou quartos, pois para esses ambientes o recomendado são as Janelas de Sótão Velux® e as Janelas Cúpulas Velux® [108, p. 10].

A Velux® possui quatro tipos de tubo solares para atender os edifícios que possuem telhados planos ou inclinados, e possui modelos com o tubo refletivo flexível e rígido, sendo que o tubo refletivo flexível é recomendado para telhados com grande inclinação em relação ao teto do ambiente que se pretende iluminar, devido não haver a possibilidade de instalar o modelo de tubo refletivo rígido nesta situação.

Os modelos de tubos solares para telhados planos estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Modelos de tubo solar da Velux® e suas especificações para telhados planos [109].

Modelo	Descrição
	<p><b>Tubo solar rígido para cobertura plana (TCR)</b> – pode ser instalado em telhados com inclinação inferior a 15°. A Velux®, recomenda para distância entre o telhado e o teto iguais a 0,9 m a 1,7 m, pois o comprimento do tubo rígido é de até 1,7 m, sendo composto por tubos retos e dois cotovelos ajustáveis até 45°, como ilustrado na figura ao lado. Para distâncias maiores deve-se usar tubo rígido de extensão para evitar perdas de luminosidade. O tubo rígido possui diâmetro de 35 cm, e um revestimento interior, com reflexão igual a 98%.</p>
	<p><b>Tubo solar flexível para cobertura plana (TCF)</b> – recomenda-se a instalação para distância entre o telhado e o teto entre 0,2 m a 0,9 m, sendo que a inclinação do telhado em relação ao teto do ambiente dever ser menor que 15°. O tubo flexível possui o comprimento de 0,9 m, e diâmetro igual a 35 cm.</p>



Para telhados com inclinações entre 15° a 60°, a Velux® possuem o modelo de tubo rígido e flexível, mas com duas versões para os dois modelos, sendo as versões TWF e TWR para telhados que possuem telhas de perfil, e as versões TLF e TLR, telhados que possuem telhas lisas. Os modelos de túnel de luz para telhados inclinados estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 - Modelos de tubo solar da Velux® e suas especificações para telhados inclinados [110].

Modelo	Descrição
	<p><b>Tubo solar rígido para cobertura inclinada (TWR/TLR)</b> – o comprimento recomendado deste modelo é entre 0,9 m a 6 m do telhado ao teto, através da utilização de tubos de extensão rígidos, sendo que este modelo padrão possui um tubo rígido de comprimento máximo igual a 1,7 m, composto por dois tubos retos e dois cotovelos que permitem ajuste até 45°. A camada interna do túnel de luz possui uma camada refletora igual a 98%.</p>
	<p><b>Tubo solar flexível para cobertura inclinada (TWF/TLF)</b> - recomenda-se a instalação para distância entre o telhado e o teto entre 0,2 m a 0,9 m. O tubo flexível possui o comprimento de 0,9 m, e diâmetro igual a 35 cm.</p>

A Velux® possui acessórios para os seus modelos de túneis de luz, os quais possuem a finalidade de melhorar a estética e o conforto dos ocupantes dos ambientes que o sistema esteja instalado, por exemplo, é possível escolher o material do difusor entre acrílico, cristalizado ou prismático, além da possibilidade de escolher a cor da moldura, e acréscimo de ventilação por meio do túnel de luz. Os acessórios disponíveis estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 – Acessórios para o túnel de luz Velux® [111].

Acessório	Descrição
	<p><b>Tela impermeabilizante (BFX)</b> – aplicado somente para túneis de luz para telhados inclinados, possui a finalidade de melhorar o estancamento e facilitar a instalação do túnel de luz.</p>
	<p><b>Moldura energética (ZTB)</b> – a moldura possui a finalidade de melhorar a vedação do túnel de luz, e diminuir o valor do coeficiente de transmissão térmica, o qual é constituído por uma camada dupla de policarbonato e fixado atrás do difusor de luz.</p>
	<p><b>Extensão rígida (ZTR)</b> – utilizado para aumentar o comprimento do túnel de luz, sendo possível com os modelos TWR, TLR e TCR um comprimento máximo de 6 m. As extensões rígidas são comercializadas em comprimentos de 64 cm para os diâmetros de 25 cm e 35 cm, e em comprimento de 124 cm para o diâmetro de 35 cm.</p>
	<p><b>Kit de luz (ZTL)</b> – fixado no interior do túnel de luz possibilita que um único sistema ilumine o ambiente que se pretende durante 24 horas, através de uma lâmpada LED de 4 W, a qual equivale uma lâmpada incandescente de 40 W, e a vida útil da lâmpada LED é de aproximadamente 18 anos. O <i>kit</i> de iluminação pode ser instalado em qualquer altura.</p>



**Entrada de ar (ZTV)** – permite a entrada de ar para dentro de um ambiente, sendo fixado na parte de trás do túnel de luz, assim complementando a ventilação do ambiente. Este acessório só pode ser instalado em túneis de luz TWF e TWR (para telhados inclinados), e o ventilador mecânico e o tubo de ventilação não estão incluídos no *kit* ZTV.

Referente ao desempenho dos túneis de luz, a Velux® deixa bem explícito que há vários fatores que influenciam na captação e transmissão da luz natural, como condições do céu (limpo, nublado, poucas nuvens), direção da luz solar, orientação do túnel de luz, e o comprimento do tubo refletor.

A Figura 9 representa a comparação entre alguns modelos de lâmpadas e os modelos de túnel solar TWF e TWR (flexível e rígido para telhados inclinados), em relação o fluxo luminoso. Segundo a Velux® [108, p. 5] na comparação foi utilizado um túnel de luz com 1 metro de comprimento, instalado num telhado com 15° de inclinação, e as medições foram realizadas no verão, ao meio-dia.

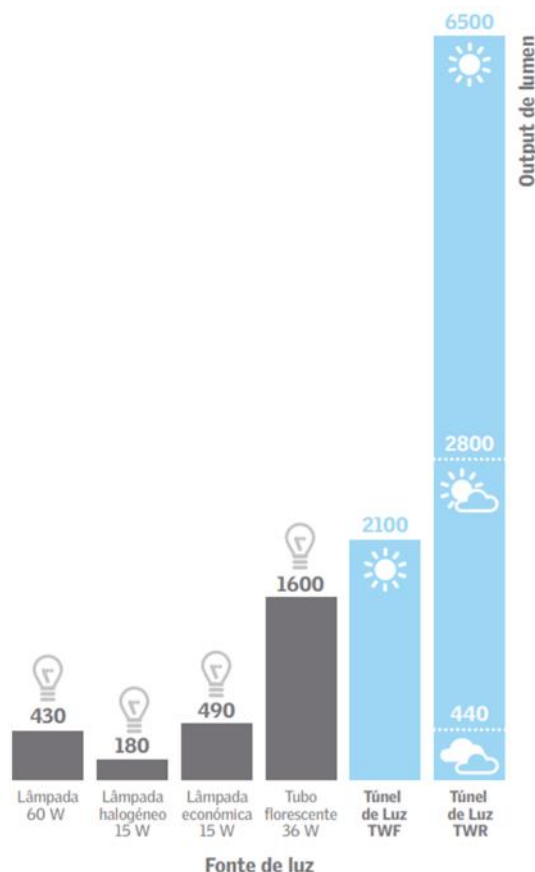


Figura 9 - Comparação do fluxo luminoso entre o túnel de luz e alguns modelos de lâmpadas [108, p. 4].

Nota-se na comparação ilustrada na Figura 9, que os modelos de túneis de luz possuem um fluxo luminoso maior que as lâmpadas num dia com céu limpo, considerando o modelo de túnel de luz TWF, e em relação ao modelo TWR, o seu fluxo luminoso medido é superior aos das lâmpadas em dias com nuvens no céu. Portanto percebe-se que o túnel de luz rígido possui um desempenho superior em comparação com o de tubo flexível em relação ao fluxo luminoso, e que o modelo TWR mesmo em dias nublados (encobertos), possui um fluxo luminoso maior que uma lâmpada tradicional de 60 W.

#### 2.8.3.1.3 Solatube®

A Solatube® foi fundada em 1980, depois de inventar um produto que permitia transportar a luz natural para o interior do edifício, produto o qual ficou conhecido posterior como tubo solar (túnel de luz), sendo assim uma alternativa com dimensões menores e estanque em relação as claraboias tradicionais. Assim, o tubo solar foi patentado e surgiu a marca Solatube® [112].

Assim, desde a sua fundação, a Solatube® possui produtos voltados para o aumento da eficiência energética em edifícios, através da criação de novos produtos e modelos, da atualização dos produtos já concebidos, do investimento em tecnologias ópticas avançadas, e da criação de componentes modulares, que possuem o objetivo de melhorar o desempenho [112].

O tubo solar da Solatube® possui quatro componentes importantes, que diferenciam o seu produto em relação aos concorrentes, sendo a zona de captação, o refletor no interior da cúpula, zona de transferência, e a zona de distribuição, como representado na Figura 10.



Figura 10 – Representação do tubo solar da Solatube® [113].

A zona de captação representado na Figura 10 pelo ponto 1 e 2, é responsável pela captação da luz solar, através da cúpula exterior fabricada em acrílico resistente aos raios UV e a impactos, a qual constituído de forma que a limpeza da cúpula se dá por meio da chuva e do vento, assim não havendo a necessidade de se realizar uma manutenção relativa a limpeza. A cúpula possui a tecnologia Raybender® 3000, a qual possui lentes patenteadas pela Solatube®, e são responsáveis pela captação solar alta eficiência, e otimizando a entrada de luz quando o sol está posicionado com uma pequena altura solar, e diminui a intensidade da luz quando o sol possui alturas solares maiores, assim controlando a entrada de luz direta, com isso evitando um desconforto por parte dos ocupantes por um excesso de luz [113, p. 4].

O ponto 2 na Figura 10, que também faz parte da zona de captação, representa a tecnologia LightTracker®, a qual é um refletor patentado pela Solatube® que tem

como a finalidade de captar e direcionar os raios solares que possuem ângulos baixos, como na época de inverno e da baixa altura solar, assim aumentando a intensidade de luz direcionando para dentro do tubo refletor [113, p. 4].

O tubo refletor da Solatube® possui a tecnologia Spectralight® Infinity patenteada pela Solatube®, que segundo a empresa, é utilizado um material na camada interna do tubo refletor sendo o material mais refletor do mundo, com isso tendo uma reflexão de 99,7%, o que permite transportar a luz por 15 m sem perdas na luminosidade, o qual está presente e representado pelo ponto 3, zona de transferência, na Figura 10. E por último, a zona de distribuição, onde está localizado o difusor de luz, representado na Figura 10 pelo ponto 4 [113, p. 4].

A Solatube® possui uma gama variada de produtos referentes a iluminação natural, assim conseguindo atender várias situações de projeto, como as séries Brighten Up® (tubo solar), SolaMaster® (tubo solar), SkyVault® (claraboia), SolarStar® (ventilação de telhado energizado por painel solar), entre outros produtos.

Segundo a Solatube® [114], a série Brighten Up® foi desenvolvida para ser aplicada em corredores, salas de armazenamento, pequenos escritórios, casas de banho, sala de jantar, cozinha, e vãos de escada que possuam uma altura máxima do teto de aproximadamente 3 metros. A série Brighten Up® é composta por dois modelos, Solatube 160DS e o Solatube 290DS, nos quais podem ser instalados os difusores Vusion® e o OptView®. Segundo a empresa, as vantagens do difusor Vusion® são a sua grande difusão de luz, e sua fixação que não sobressai do teto, e a vantagem do modelo OptView® é que suas lentes Fresnel de policarbonato proporciona uma luz natural cristalina e permite ver o céu [113, p. 13].

A série SolaMaster® possui modelos com diâmetro maior que os da série Brighten Up®, assim sendo indicados para ambientes grandes, como espaços de varejo, restaurantes, escritórios, corredores, armazéns, ginásios, salas de aulas, entre outras aplicações. Esta série também possui dois modelos, o Solatube 750DS e o Solatube 350DS, os quais possuem diâmetros iguais de 53 cm, a diferença entre eles é que o modelo Solatube 350DS utiliza apenas as tecnologias Spectralight® Infinity e a LightTracker®, enquanto o modelo Solatube 750DS possui uma cúpula adicional com a tecnologia Raybender® 3000 que impede o excesso de luminosidade quando a altura solar possui valores altos (direção dos raios solares quase verticais), mas ao mesmo tempo aumentando a captação de luz quando a altura solar possui ângulos menores (direção dos raios solares quase horizontais), assim o modelo 750DS consegue tornar mais uniforme a iluminação natural durante o dia, aumentando o período de iluminação natural e bloqueando o excesso de luz, e também utiliza as tecnologias, Spectralight® Infinity, e a LightTracker® [115].

O bloqueio do excesso de luminosidade relativa a tecnologia Raybender® 3000 pode ser visualizado na Figura 11, que representa o comparativo lúmen por hora dia entre o modelo Solatube 750DS, representado pela linha cor roxa, e modelo Solatube 350DS, representado pela linha de cor cinza, durante o verão, estação a qual o sol possui os

maiores valores de altura solar durante o ano, com isso a incidência da luz solar é quase vertical no tubo solar, assim podendo causar um excesso de luminosidade no ambiente. O comparativo foi realizado em Denver, nos Estados Unidos da América (EUA), com um Solatube 750DS de 3 metros de comprimento, equipados com a cúpula Raybender® 3000, tubos refletores Spectralight® Infinity e difusores OptView®, e o Solatube 350DS com uma cúpula transparente com refletor LightTracker®, e tubos refletores Spectralight® Infinity e difusores OptView®.

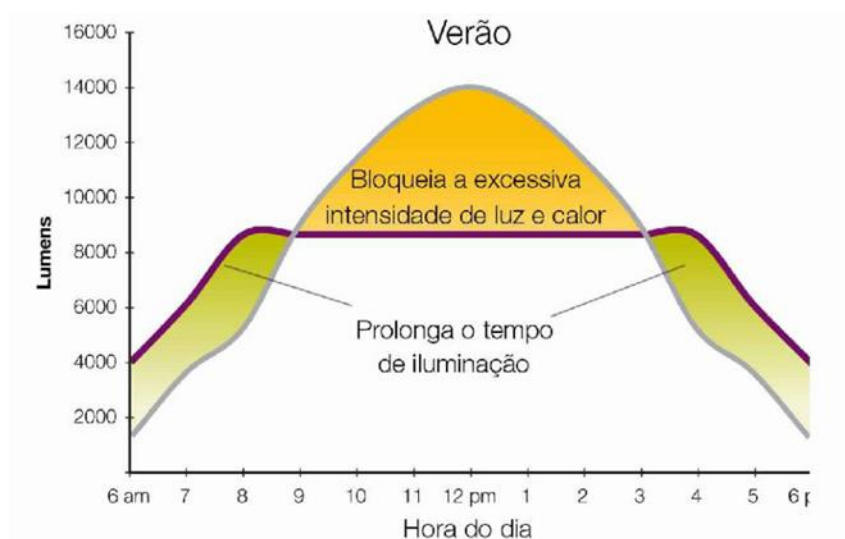


Figura 11 – Comparativo entre o Solatube 750DS (linha roxa), e o 350DS (linha cinza), no verão em relação lúmens por hora do dia [116, p. 7].

Percebe-se que o modelo 350DS possui um pico de fluxo luminoso (lúmens) entre o período das 9h às 15h, devido aos raios solares incidirem diretamente na sua cúpula, já o modelo 750DS, mantém o seu fluxo luminoso constante durante o período das 9h às 15h, além de possuir um fluxo luminoso maior que o modelo 350DS, no início e no final do dia, devido a tecnologia Raybender® 3000, como mostrado na Figura 11.

O comparativo entre os dois modelos durante a primavera e o outono, está ilustrado na Figura 12. Nestas estações ocorrem os valores “médios” da altura solar em relação ao verão que possui as maiores alturas solares, e o inverno, que o sol está mais próximo do horizonte, com isso possuindo os menores valores da altura solar.



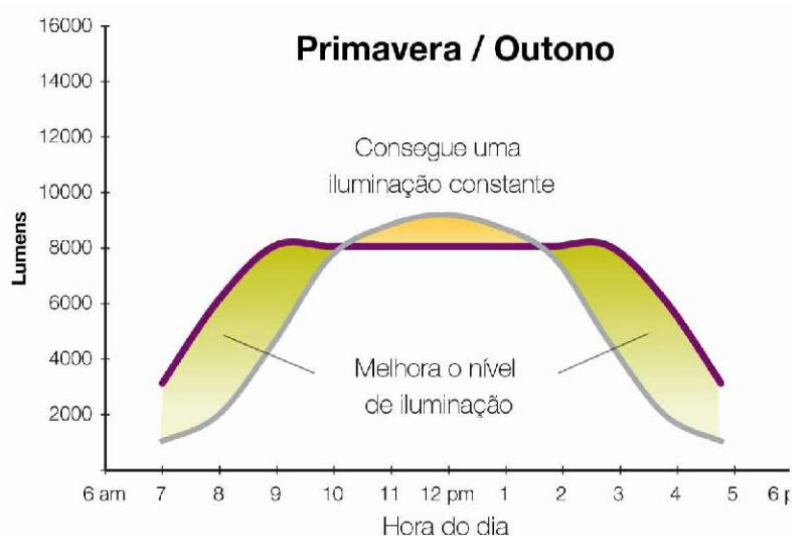


Figura 12 - Comparativo entre o Solatube 750DS (linha roxa), e o 350DS (linha cinza), na primavera e outono em relação lúmens por hora do dia [116, p. 7].

No comparativo da Figura 12, nota-se que o pico do fluxo luminoso do modelo 350DS possui valores menores que os obtidos no verão, devido a altura solar possuir valores menores na primavera e no outono em relação ao verão, já o modelo 750DS consegue manter o seu desempenho, assim conseguindo captar mais luz no início e no final do dia, e manter a iluminação constante no ambiente num intervalo de tempo próximo do meio dia.

Na estação de inverno, a trajetória aparente do sol, possui os menores valores da altura solar, em relação as outras estações durante o ano, com isso o modelo 350DS não vai conseguir captar uma grande quantidade de raios solares como ocorreu nas outras estações, e é nesta situação que a tecnologia Raybender® 3000 se destaca, devido a sua capacidade de captar os raios solares com direção mais próximas do horizonte, como representado na Figura 13.



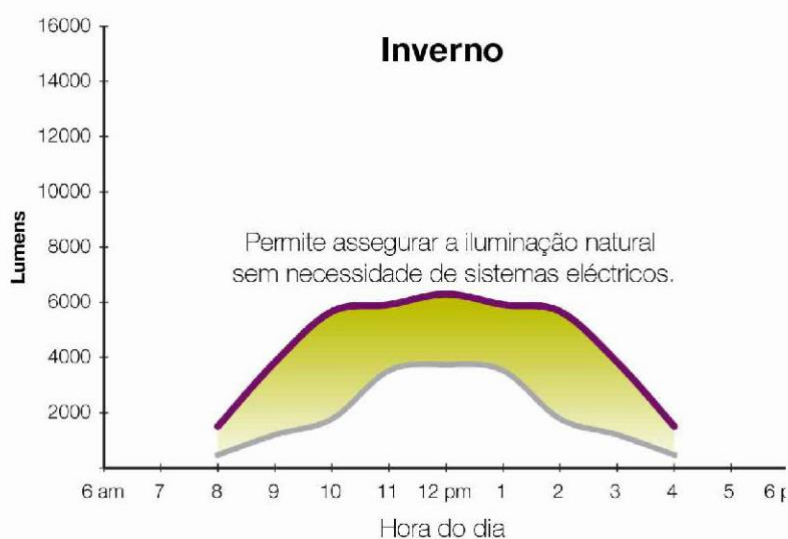


Figura 13 - Comparativo entre o Solatube 750DS (linha roxa), e o 350DS (linha cinza), no inverno em relação lúmens por hora do dia [116, p. 7].

Portanto, como comentado anteriormente, durante o inverno, a quantidade de luz captada pelo modelo 350DS diminuiu muito em relação as outras estações, como mostrado na Figura 13, onde o valor do pico do fluxo luminoso no verão obtido para o modelo 350DS chegava próximo dos 14.000 lúmens, e na primavera e no outono, valores próximos a 9.000 lúmens, no inverno, os valores do pico não passou dos 4.000 lúmens, assim a eficiência da iluminação do modelo 350DS é muito baixa durante o inverno. Enquanto o modelo 750DS, por possuir a tecnologia Raybender® 3000, consegue captar uma quantidade de luz maior, assim havendo a possibilidade de garantir durante o inverno que haja iluminação natural suficiente para manter os sistemas de iluminação artificial desligados, como ilustrado na Figura 13.

Agora, comparando o modelo Solatube 750DS com outros sistemas de iluminação natural, como janelas de vidro duplo e triplo, claraboias duplas, e janelas com baixa transmissão térmica, a Solatube® [116, p. 7], afirma que o desempenho do seu tubo solar do modelo 750DS é melhor que qualquer outros sistema de iluminação natural, como pode ser visto na Tabela 13, interpretando os valores da transmissão de luz, do coeficiente de transmissão térmica, e do índice relativo, que é a razão entre a transmissão de luz e o coeficiente de transmissão térmica, retirados do catálogo do Solatube 750DS [116, p. 7].

Tabela 13 - Comparação entre janela, claraboia e o Solatube 750DS em relação a proporção entre transmissão de luz visível e coeficiente de transmissão térmica [116, p. 7].

Sistema	Transmissão de luz visível (Vt)	Coeficiente de transmissão térmica (U) (W/(m <sup>2</sup> °C))	Índice relativo (Vt/U)
Janela com coeficiente de transmissão térmica baixo, com vidro triplo e película refletora	22%	0,16	1,38
Janela de vidro triplo	63%	0,36	1,75
Janela de vidro duplo	71%	0,49	1,45
Claraboia dupla (vidro translúcido/prismático)	71%	0,51	1,39
Solatube 750DS	60%	0,20	3,00

Portanto, considerando o índice relativo informado na Tabela 13, o tubo solar da Solatube® possui a melhor relação de transmissão de luz e coeficiente de transmissão térmica que os demais sistemas de iluminação natural, desse modo comprovando que o seu desempenho de iluminação é superior aos outros sistemas de iluminação comparados, devido a sua capacidade de possuir um valor da transmissão de luz visível alto, com um pequeno coeficiente de transmissão térmica, assim iluminando mais o ambiente e evitando um desconforto térmico pelo aquecimento do ambiente.

Para facilitar a escolha entre os modelos de tubo solares da Solatube®, foi criada a Tabela 14, com a finalidade de informar o diâmetro do tubo solar, o comprimento máximo do tubo sem que haja perdas na eficiência e na qualidade da luz natural, a área máxima de iluminação, e os possíveis locais de instalação do tubo solar.

Tabela 14 – Comparação entre os modelos tubos solares da Solatube® [113, p. 13], [117].

Modelo	Diâmetro	Comprimento máximo	Área iluminada	Locais de aplicação
160DS	25 cm	6 m	14 – 19 m <sup>2</sup>	Banheiros, escadas, hall de entrada e closets. A área de abrangência varia de acordo com a intensidade de luz despejada para o local.
290DS	35 cm	9 m	23 – 28 m <sup>2</sup>	Indicado para cozinhas, salas de estar, escritórios, salões e garagens.
350DS / 750DS	53 cm	15 m	48 m <sup>2</sup>	Indicado para locais públicos de trabalho ou estudo, como grandes

escritórios, áreas comerciais, salas de aulas, refeitórios, armazéns industriais, galpões logísticos, oficinas, hospitais e ateliês de desenho e arquitetura.

Os tubos solares da Solatube® também possuem acessórios parecidos com os da Chatron® e Velux®, os quais estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15 - Acessórios para o túnel de luz Solatube® [113, p. 13].

Acessório	Descrição
 <p data-bbox="272 1003 504 1021">Tubo de extensão (0-90 graus)</p> <p data-bbox="600 1003 743 1021">Tubos de extensão</p>	<p><b>Tubos de extensão Spetralight® Infinity</b> – fabricado com comprimento de 40 cm e 60 cm, e curvas de 90° utilizando a tecnologia Spetralight® Infinity para o aumento do comprimento do tubo solar sem que haja perdas de luminosidade.</p>
	<p><b>Regulador de entrada de luz natural</b> – controla a intensidade de luz natural no ambiente, o sistema se resume num diafragma no formato borboleta que pode ser acionado por meio de interruptor na parede ou comando remoto IV.</p>
	<p><b>Kit de ventilação</b> – o sistema de ventilação é acoplado ao difusor de luz. O motor de extração do ar é incluso no kit. Acessório ideal para casas de banho.</p>



**Kit de luz elétrica** – possibilita a fixação de uma lâmpada no interior do tubo refletor, para utilizar o tubo solar como luminária durante a noite. O *kit* permite a instalação de uma lâmpada incandescente de até 75 W de potência ou lâmpadas LED.



**Torretas** – são utilizadas para elevar a cúpula de captação de luz natural, com o objetivo de evitar a sombra de objetos, equipamentos, e de elementos arquitetônicos, assim garantindo a exposição solar da cúpula de captação.



**Barra de segurança** – uma barra fabricada em aço inoxidável fixada na parte superior do tubo solar, com a finalidade de evitar a entrada de intrusos.

# DESENVOLVIMENTO

## 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO SUPERMERCADO

## 3.2 ZONA CLIMÁTICA

## 3.3 AMBIENTES DO SUPERMERCADO

## 3.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DO EDIFÍCIO

3.4.1 Envolventes opacas externas do supermercado

3.4.2 Envolventes opacas internas do supermercado

3.4.3 Claraboias

## 3.5 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

## 3.6 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

## 3.7 SISTEMA DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

## 3.8 CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA DO REVIT®

3.8.1 Fluxo de trabalho

3.8.2 Modelo tridimensional

3.8.3 Análise energética em condições reais

3.8.4 Dados climáticos e localização

3.8.5 Diagramas de ocupação, iluminação e equipamentos elétricos

3.8.6 Sistema de climatização e ventilação

3.8.7 Sistema de água quente sanitária

3.8.8 Equipamentos elétricos presentes no supermercado

### **3.9 SIMULAÇÃO DINÂMICA DO SUPERMERCADO EM CONDIÇÕES REAIS**

#### **3.10 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA EM CONDIÇÕES REAIS**

3.10.1 Possíveis medidas de otimização energética para os setores consumidores

#### **3.11 ANÁLISE SOLAR**

3.11.1 Análise da radiação solar acumulada sobre o supermercado

3.11.2 Análise da quantidade de luz natural no interior do supermercado

3.11.3 Pontos importantes dos resultados da análise solar

#### **3.12 MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA**

3.12.1 Alteração do coeficiente de transmissão térmica das envolventes opacas

3.12.2 Substituição dos elementos envidraçados na fachada voltada à direção sudoeste

3.12.3 Instalação de lamelas ou *brise-soleils* na fachada envidraçada voltada à direção sudoeste

3.12.4 Alteração das temperaturas de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização  
(*setpoint*)

3.12.5 Melhorias no sistema de iluminação

3.12.6 Alteração dos sistemas de climatização disponíveis no Revit®

3.12.7 Análise do potencial de produção de energia elétrica fotovoltaica

### 3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo aborda a caracterização do supermercado, localizado em Tomar (caso de estudo), realizada a partir dos projetos de arquitetura, iluminação, e climatização, além do certificado energético, e das visitas em outros supermercados que possuíam o projeto arquitetónico semelhante. Desse modo, é especificado a localização geográfica, a zona climática, a área dos ambientes internos presentes no supermercado, as propriedades térmicas das envolventes opacas e envidraçadas, os equipamentos que compõem os sistemas de climatização e iluminação, e os equipamentos elétricos existentes no supermercado e que foram considerados nas simulações dinâmicas.

Também são abordados: as análises solares realizadas através de ferramentas nativas do *software* Revit®; a simulação dinâmica do modelo em condições reais, a qual foi validada através da comparação do consumo energético global obtido por meio do *software* Revit® e o informado no certificado energético (os consumos energéticos apresentados no certificado energético foram simulados no *software* Trace® 700, e o certificado energético está no ANEXO 6); as simulações dinâmicas referentes as medidas de otimização energética propostas; e a análise do potencial de produção de energia elétrica através da instalação de um sistema fotovoltaico.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO SUPERMERCADO

O supermercado foi inaugurado no dia 16 de março de 2017, e está localizado na Rua de Coimbra entre as freguesias de São João Baptista e Santa Maria dos Olivais, no Concelho de Tomar, com **altitude de 80 metros**, na **latitude 39°36'36,48" N**, **longitude 8°24,5'5,77" O**, e aproximadamente a **56,7 km da costa do oceano Atlântico**, com base no *software* Google Earth Pro®, como ilustrado na Figura 14.



Figura 14 - Imagem do supermercado em Tomar com representação da direção norte.

O supermercado possui uma vizinhança composta de edifícios residenciais com altura média de quatro andares, os quais estão localizados nas direções noroeste e nordeste. Na direção sudoeste, está localizado o estacionamento do supermercado, e na direção sudeste, um posto de combustível.

### 3.2 ZONA CLIMÁTICA

Com base na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, definida pelo Despacho n.º 15793-F/2013 [51], o supermercado é classificado como Médio Tejo.

Os parâmetros climáticos para a estação de aquecimento para a zona do Médio Tejo estão representados na Tabela 16, onde  $G_{Sul}$  representa energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul.

Tabela 16 – Dados climáticos referentes a estação de aquecimento para o Médio Tejo [51, p. 4].

Temperatura exterior média (°C)	Zona Climática de Inverno	Número de graus/dias (°C.dias)	Duração da Estação de aquecimento (meses)	Zona Climática de Verão	$G_{Sul}$ (kWh/m²)
9,9	I1	1.216,00	5,90	V3	145,00

Os parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento para a zona do Médio Tejo estão representados na Tabela 17.

Tabela 17 – Dados climáticos referentes a estação de arrefecimento para o Médio Tejo [51, p. 5].

Temperatura exterior média (°C)	Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) (kWh/m²)								
	0°	90°N	90°NE	90°E	90°SE	90°S	90°SW	90°W	90°NW
22,7	835	220	360	500	495	415	495	500	360

### 3.3 AMBIENTES DO SUPERMERCADO

O pavimento ao nível do solo (piso térreo) do supermercado foi denominado neste trabalho, como nível 0, o qual é composto na maioria da sua área pela zona de vendas e por um mezanino (pavimento localizado entre o andar térreo e o primeiro andar), denominado nível 1.



Os ambientes presentes no nível 0 estão representados em planta baixa na Figura 15.

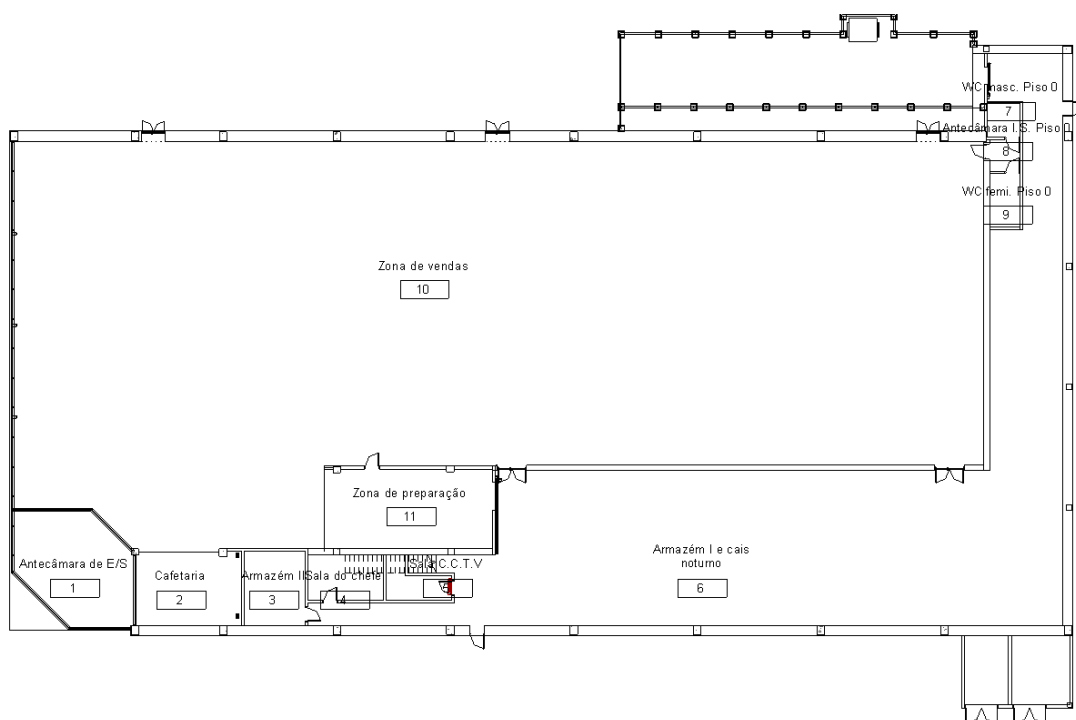


Figura 15 - Planta baixa do nível 0.

Os ambientes do supermercado que constituem o nível 0, e seus respectivos valores de área interna, estão listados na Tabela 18.

Tabela 18 – Ambientes do supermercado presentes no nível 0, com seus respectivos valores de área interna.

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )
Antecâmara de entrada/saída	49,60
Cafetaria	36,64
Armazém II	19,79
Sala do Chefe	15,00
Sala de CCTV ( <i>Closed-Circuit Television</i> )	8,92
Armazém I e cais noturno	389,90
WC ( <i>Water Closet</i> ) masculino	3,90
Antecâmara IS ( <i>Indoor Sanitary</i> )	5,00
WC feminino	7,00
Zona de vendas	1.424,00
Zona de preparação	93,35

Os ambientes do nível 1 (mezanino) estão representados em planta baixa na Figura 16.

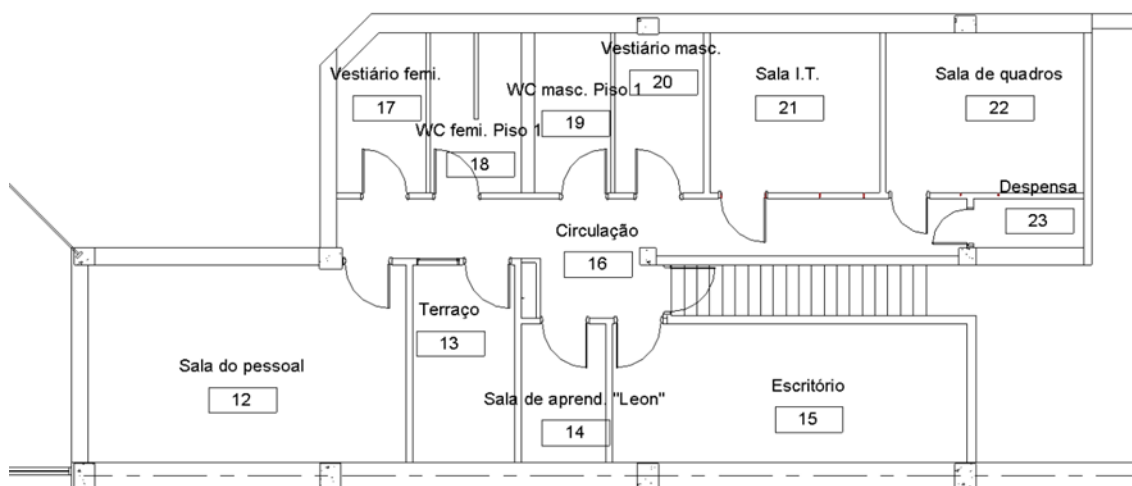


Figura 16 – Planta baixa do nível 1.

Os ambientes do nível 1 (mezanino), e seus respectivos valores de área interna estão listados, na Tabela 19.

Tabela 19 - Ambientes do supermercado presentes no nível 1, com seus respectivos valores de área interna.

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )
Sala do pessoal	24,00
Terraço	11,15
Sala de aprendizagem "Leon"	6,50
Escritório	27,23
Circulação	24,28
Vestiário feminino	7,43
WC feminino	7,43
WC masculino	6,79
Vestiário masculino	7,92
Sala IT ( <i>Information Technology</i> )	15,08
Sala de quadros	17,54
Despensa	1,86

### 3.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DO EDIFÍCIO

Por falta de informações sobre algumas camadas das envoltentes opacas e envidraçadas, como janelas, portas e piso do edifício, foi necessário definir os materiais com base em outros projetos e trabalhos. Desse modo, tornando possível calcular os coeficientes de transmissão térmica (U) das envoltentes presentes no edifício.

O Despacho n.º 15793-K/2013 [61], referente ao Decreto-Lei n.º 118/2013, estabelece a metodologia do cálculo do coeficiente de transmissão térmica para elementos opacos, com um ou mais camadas de materiais, através da Equação (1).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})] \quad (1)$$

Onde,  $R_j$  é a resistência térmica da camada  $j$  [ $\text{m}^2\text{°C}/\text{W}$ ],  $R_{si}$  a resistência térmica interior [ $\text{m}^2\text{°C}/\text{W}$ ], e  $R_{se}$  a resistência térmica exterior [ $\text{m}^2\text{°C}/\text{W}$ ], da envolvente. O Despacho n.º 15793-K/2013, estabelece que os valores das propriedades dos materiais devem ser retirados da norma EN ISO 6946, ou das Publicações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

### 3.4.1 Envolventes opacas externas do supermercado

Os valores das propriedades térmicas necessárias para a execução da simulação dinâmica, como densidade, condutividade térmica, resistência térmica, coeficiente de transmissão térmica, e algumas considerações, foram retiradas da publicação ITE 50 [118] da LNEC.

Com base na ITE 50 [118, p. 6], os valores das resistências térmicas superficiais exteriores e interiores das envolventes, devem ser retirados do quadro I.3 da ITE 50 (ANEXO 3), e caso seja relevante, o sentido do fluxo de calor deve ser considerado. Assim, para as envolventes que separam um espaço útil interior (espaço aquecido ou espaço habitado) do ambiente exterior, como as paredes externas do supermercado, possuem o sentido do valor horizontal, **logo a resistência térmica superficial exterior é igual a 0,04 m<sup>2</sup>°C/W, e a interior é igual a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W**. Para a **cobertura** foi considerado um fluxo de calor descendente, assim a resistência térmica exterior é igual a **0,17 m<sup>2</sup>°C/W, e a interior igual a 0,04 m<sup>2</sup>°C/W**. Em relação ao pavimento em contato com o chão, segundo o Despacho n.º 15793-K/2013 [61, p. 63], **não se deve utilizar as resistências térmicas superficiais externa e interna para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica**, mas sim os valores estabelecidos pelo despacho. E por não haver informações detalhadas da fachada envidraçada, foi utilizado o valor do coeficiente de transmissão térmica presente no certificado energético.

Portanto, as envolventes exteriores do supermercado são as paredes externas, a fachada envidraçada, a cobertura (telhado), e o pavimento em contanto com o chão, sendo que as paredes exteriores e piso do nível 0 estão representados em plana baixa na Figura 17, com suas respectivas identificações.

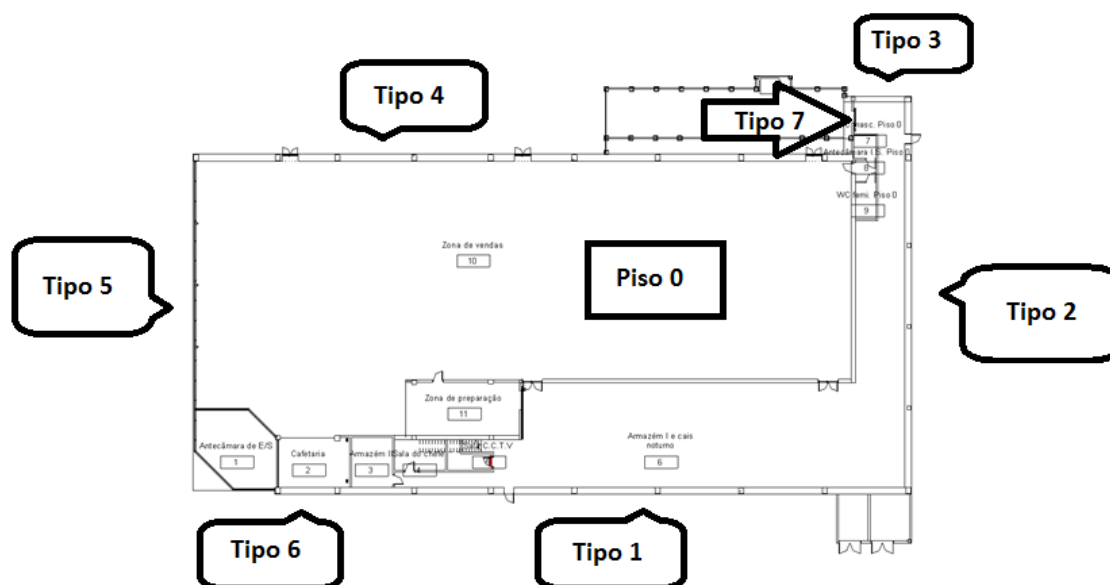


Figura 17 - Identificação das paredes externas e do pavimento em contato com o solo (nível 0).

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica das envoltentes exteriores estão representados na Tabela 20, e de forma detalhada no ANEXO 1.

Tabela 20 – Envoltentes opacas exteriores do supermercado.

Envoltente exterior	Coeficiente de transmissão térmica (W/m <sup>2</sup> °C)
Tipo 1 – PE Sudeste	0,40
Tipo 2 – PE Nordeste	0,35
Tipo 3 – PE Noroeste - cais noturno	0,39
Tipo 4 – PE Noroeste - zona de vendas	0,39
Tipo 5 – Fachada envidraçada	1,30
Tipo 6 – PE Sudeste maciça	0,29
Tipo 7 – PE Sudeste - cais noturno	0,59
Cobertura	0,47
Piso 0	0,21

### 3.4.2 Envoltentes opacas internas do supermercado

As envoltentes internas do supermercado são as paredes que dividem os ambientes interiores, e o pavimento do nível 1. Os valores do coeficiente de transmissão térmica das paredes internas com espessura menor que 0,30 m, foram definidos sendo uma parede simples de alvenaria de bloco de betão leve, com base no quadro I.5 da ITE 50 (ANEXO 3), e as paredes interiores com espessuras superiores a 0,30 m foram

definidas como sendo betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria, com base do quadro I.2 da ITE 50 (ANEXO 3).

Segundo a ITE 50, para envolventes, como parede, vão envidraçados ou pavimentos, que separam um espaço útil interior de um local interior não-aquecido, como garagens, armazéns, arrecadações, zonas comuns de circulação, varandas ou marquises fechadas, o valor da resistência térmica superficial exterior é igual a resistência térmica superficial interior.

Portanto, com base no quadro I.3 da ITE 50 (ANEXO 3), e considerando o sentido do fluxo de calor horizontal para as paredes interiores, **as resistências térmicas superficiais exterior e interior são iguais a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$** . Em relação ao pavimento do nível 1, foi considerado que o sentido do fluxo do calor é ascendente, assim as **resistências térmicas superficiais exterior e interior são iguais a  $0,10 \text{ m}^2\text{C/W}$** .

As paredes internas foram identificadas através das suas espessuras, assim as paredes interiores do nível 0 estão representadas em planta baixa do nível 0 na Figura 18.

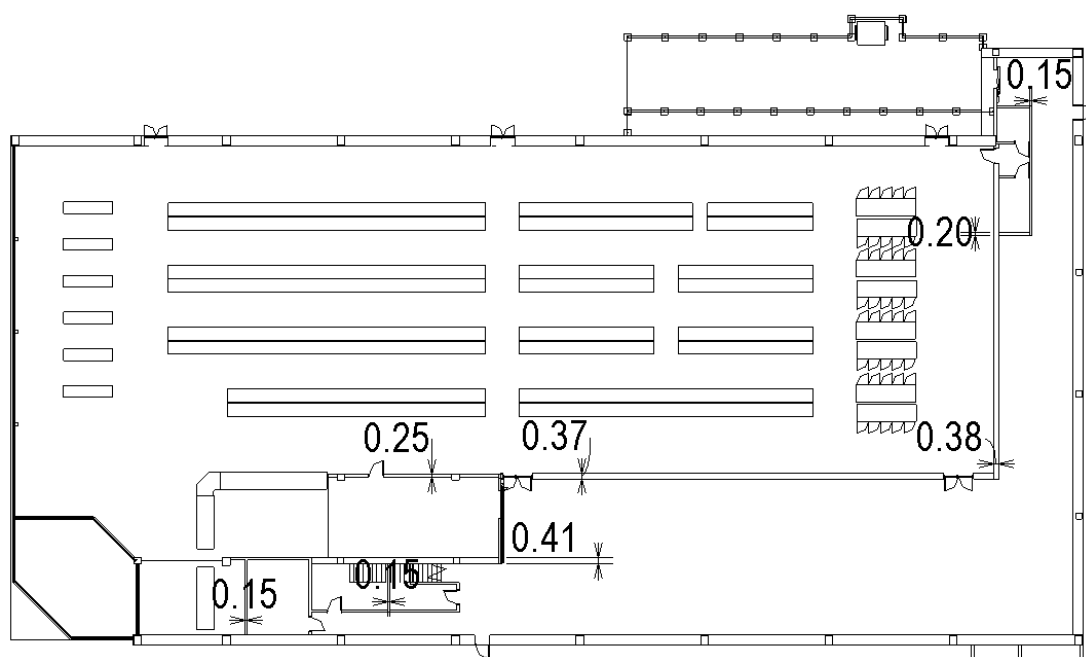


Figura 18 – Identificação das paredes internas presentes no nível 0, através das suas espessuras.

As paredes interiores do nível 1 estão representadas na Figura 19.

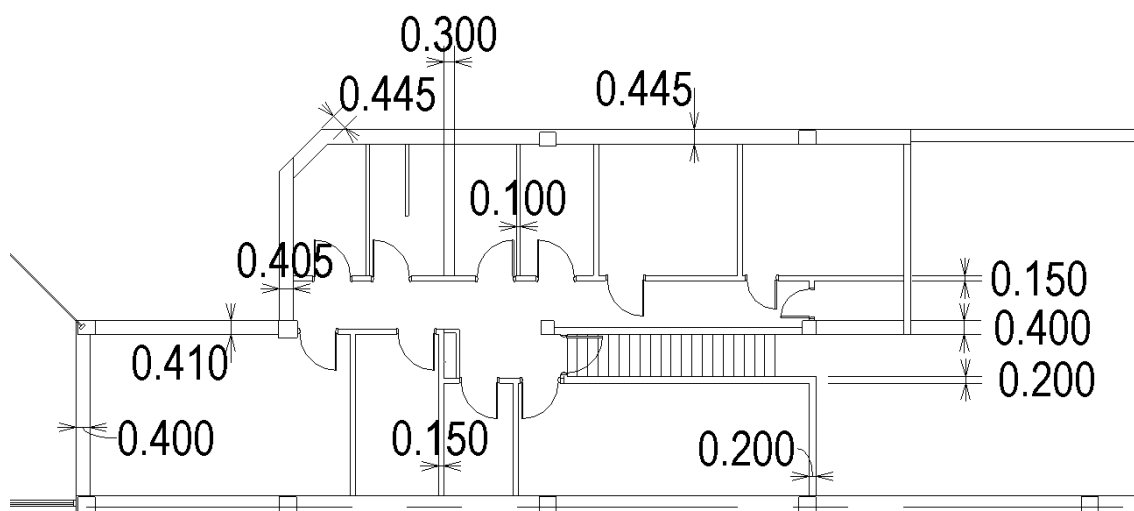


Figura 19 - Identificação das paredes internas presentes no nível 1, através das suas espessuras.

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica das paredes interiores e do pavimento do nível 1 estão descritos na Tabela 21, e de maneira detalhada no ANEXO 2.

Tabela 21 - Envolventes opacas interiores do supermercado.

Envolvente interior	Coefficiente de transmissão térmica (W/m <sup>2</sup> °C)
PI 1 - Parede Interior 0,10 m	1,89
PI 2 - Parede Interior 0,15 m	1,75
PI 3 - Parede Interior 0,18 m	1,33
PI 4 - Parede Interior 0,20 m	1,33
PI 5 - Parede Interior 0,25 m	1,25
PI 6 - Parede Interior 0,30 m	1,18
PI 7 - Parede Interior 0,37 m	1,05
PI 8 - Parede Interior 0,38 m	1,02
PI 9 - Parede Interior 0,40 m	0,96
PI 10 - Parede Interior 0,405 m	0,95
PI 11 - Parede Interior 0,41 m	0,94
PI 12 - Parede Interior 0,445 m	0,88
Piso 1	2,89

### 3.4.3 Claraboias

O supermercado possui dois tipos de claraboias, o qual um tipo possui 11 unidades distribuídas entre a zona de vendas, cais noturno e armazém II, e o outro tipo de claraboia com apenas uma unidade está localizada no espaço do terraço.

A claraboia com mais unidades é composta por um vão simples que possui uma lâmina incolor translúcida feita de policarbonato, com uma espessura de 6mm, fixada numa caixilharia em alumínio termolacado. **Essa claraboia possui um coeficiente de transmissão térmica igual a 4,30 (W/m<sup>2</sup>°C) e fator de ganho solar igual a 0,50.**

A outra claraboia também é constituída por um vão simples, com uma lâmina alveolar, incolor, translúcida, opalescente, feita de policarbonato, e espessura de 16 mm, fixada numa caixilharia de alumínio termolacado. **A qual, possui um coeficiente de transmissão térmica igual a 2,10 (W/m<sup>2</sup>°C) e um fator de ganho solar igual a 0,42.**

As duas claraboias estão destacadas com círculos vermelhos na Figura 20, em que a claraboia de um único tipo está coberta por uma lona azul no lado direito da foto.



Figura 20 - Localização das claraboias presentes no edifício.

### 3.5 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

O supermercado possui oito zonas relacionadas a climatização, que possuem os seguintes sistemas: **rooftop, Volume de Refrigerante Variável (VRF), Multi-Split, Split, somente ventilação, e também havendo ambientes não climatizados.**

As zonas de climatização presentes no nível 0 estão representadas em planta baixa na Figura 21.

### Legenda

- Rooftop - Lennox Energy 019 AH106
- Sistema de ventilação - Circulação e WC nível 0 e 1
- Sistema MultiSplit - Chefe/Escritório/CCTV
- Sistema VRV - Armazém I e cais noturno
- Zona não climatizada - Plenum/Despensa/Terraço

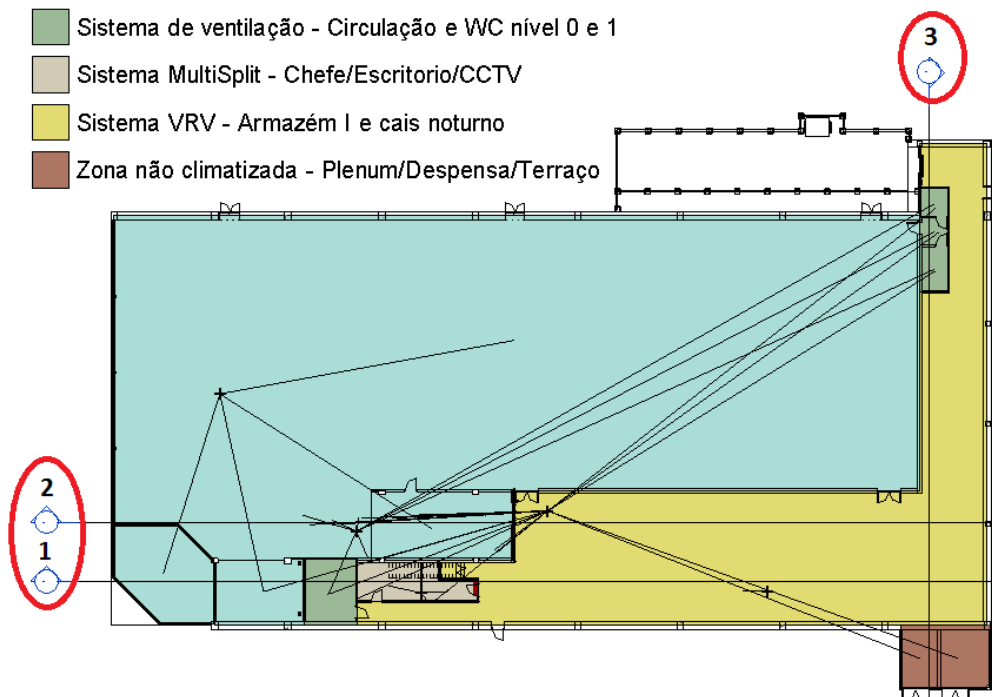


Figura 21 - Representação dos espaços climatizados e os espaços não climatizados.

A Figura 22 mostra através da vista de corte 1 as zonas de climatização dos ambientes do supermercado passando pela cafeteria, armazém II, sala do chefe, sala de CCTV, e o armazém I, no nível 0, e passando pela sala do pessoal, terraço, sala de aprendizagem “Leon”, e o escritório, no nível 1.

### Legenda

- Rooftop - Lennox Energy 019 AH106
- Sistema de ventilação - Circulação e WC nível 0 e 1
- Sistema Multi-Split - Sala Pessoal/Sala Aprend. Leon
- Sistema MultiSplit - Chefe/Escritório/CCTV
- Sistema VRV - Armazém I e cais noturno
- Zona não climatizada - Plenum/Despensa/Terraço

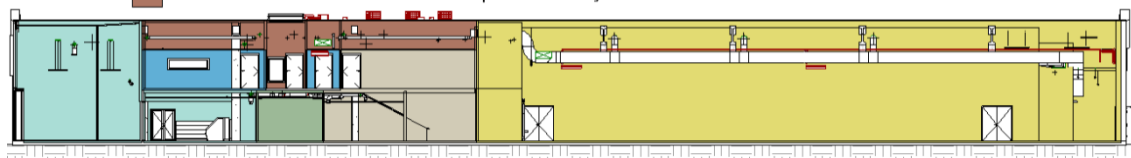


Figura 22 - Representação dos espaços climatizados - Vista de Corte 1.

A vista de corte 2, ilustrada na Figura 23, mostra as zonas de climatização passando pela zona de preparação e armazém I no nível 0, e pelo vestiário feminino e masculino, casas de banho, sala de quadro, e a sala IT, no nível 1.



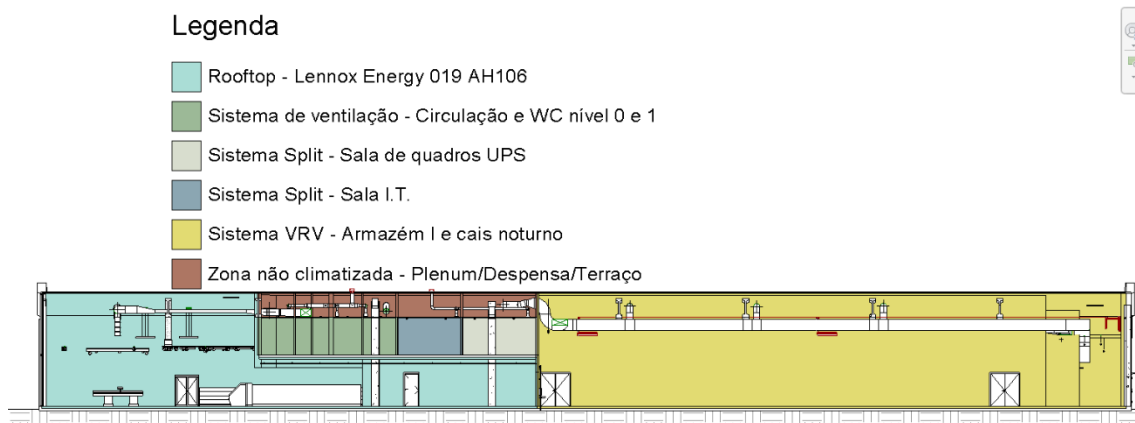


Figura 23 - Representação dos espaços climatizados - Vista de Corte 2.

As zonas de climatização referente as casas de banho do nível 0, armazém I, e cais noturno estão representados na vista de corte 3, ilustrada na Figura 24.

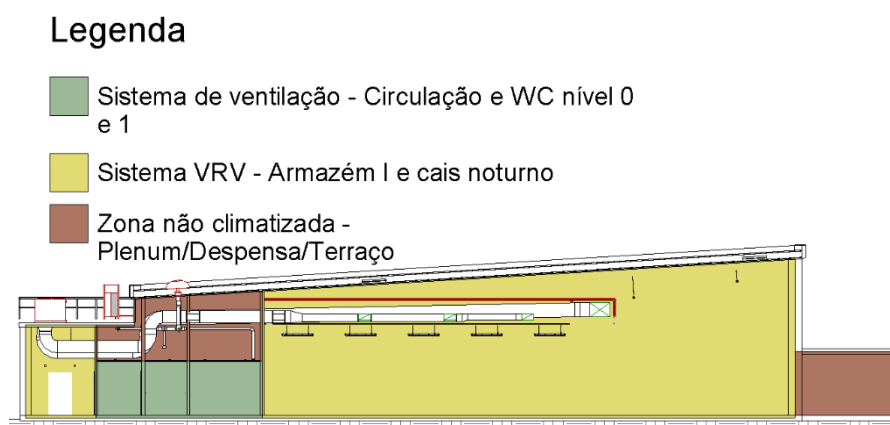


Figura 24 - Representação dos espaços climatizados - Vista de Corte 3.

A climatização da zona de vendas é realizada por uma unidade compacta da marca Lennox, **modelo Energy 019 AH106FM1M** [119, p. 19], cuja **capacidade nominal de aquecimento é de 101,7 kW (Coefficient of Performance - COP=3,38)** e a **capacidade de arrefecimento de 108,6 kW (Energy Efficiency Ratio - EER=3,26)**, a qual pode ser descrita como uma bomba de calor de expansão direta, compacta horizontal, com a disponibilidade de *free cooling*. O equipamento se encontra na parte exterior do edifício, em cima da entrada do armazém II, como mostra a Figura 25.



Figura 25 - Unidade compacta Lennox, modelo Energy 019 AH106FM1M.

O armazém II e o cais noturno são climatizados por um sistema VRV da Daikin, que possui uma unidade externa **modelo RXYQ10T**, e quatro unidades internas **modelo FXHQ63A**, sendo que duas estão localizadas no armazém II e as outras no cais noturno. **A capacidade nominal de aquecimento é de 28 kW (COP=4,45) e capacidade nominal de arrefecimento de 28 kW (EER=3,84).** A unidade externa está representada pela Figura 26.



Figura 26 - Unidade externa do VRV da Daikin, modelo RXYQ10T.

A Figura 27 ilustra duas unidades internas do VRV instaladas no armazém I, e estão destacadas por círculos vermelhos.



Figura 27 - Duas unidades internas do VRV da Daikin, modelo FXHQ63A.

A climatização da sala do pessoal e da sala de aprendizagem “Leon” são realizadas por um sistema *Multi-Split* da marca Daikin, o qual possui uma unidade externa, modelo 2MXS50H, e duas unidades internas, modelo FTXS20K [120, p. 3]. **A capacidade nominal de aquecimento é de 2,5 kW (COP=4,55) e capacidade de arrefecimento de 2,0 kW (EER=4,65).**

A sala do chefe, a sala CCTV (*closed-circuit television*) e o escritório são climatizados por um *Multi-Split* que possui uma unidade externa, modelo 3MXS68G, e três unidades interiores, sendo que duas são do mesmo modelo, mas com capacidades diferentes, modelos FFQ25C e FFQ35C, e a terceira, modelo FTXS20K. **A capacidade nominal de aquecimento do modelo FFQ25C é de 3,2 kW (COP=3,81) e a capacidade nominal de arrefecimento igual a 2,50 kW (EER=4,46). O modelo FFQ35C, possui uma capacidade nominal de aquecimento de 4,2 kW (COP=3,41), e uma capacidade nominal de arrefecimento de 3,4 kW (EER=3,7). E o modelo FTXS20K foi descrito no parágrafo anterior [120, p. 7].**

A sala IT (*Information Technology*) e a dos quadros elétricos são climatizadas por sistemas Split. A climatização da sala IT é realizada por duas unidades *Split* idênticas da marca Daikin, o modelo da unidade externa RXS35L3, e o modelo da unidade interna FTXS35K [120, p. 3], **as quais possuem capacidade nominal de aquecimento de 4,0 kW (COP=4,76) e capacidade nominal de arrefecimento de 3,5 kW (EER=4,17).**

A sala de quadros possui apenas uma unidade Split para sua climatização da marca Daikin. A unidade externa é do modelo RXS20L3, e a unidade interna, modelo FTXS20K, **que possui uma capacidade nominal de aquecimento de 2,5 kW (COP=4,55) e capacidade nominal de arrefecimento de 2,0 kW (EER=4,65).**

Os ambientes que possuem sistema de ventilação de extração e insuflação, estão descritos na Tabela 22, com algumas características dos ventiladores, como potência, marca e modelo.

Tabela 22 - Modelos dos ventiladores dos sistemas de ventilação.

Referência (projeto)	Descrição	Marca	Modelo	Potência (W)	Ambiente
Ve1	Ventilador de extração	Systemair	TFSR 125 XL	54	Sala de quadros e IT
Ve2	Ventilador de extração	Systemair	TFSR 200	108	Sala do pessoal, sala do chefe, sala CCTV e escritório
Ve3	Ventilador de extração	Systemair	DHS Sileo 225 EZ	110	WC masc/fem e vestiário masc/fem do nível 1
Ve4	Ventilador de extração	Systemair	DHS Sileo 400 E6	152	Zona de preparação
Ve5	Ventilador de extração	France-Air	Canal'Air ECN 250	-	Cafeteria e Armazém II
Ve6	Ventilador de extração	Systemair	TFSR 160	58	WC masc/fem e antecâmara do nível 0
Vi1	Ventilador de insuflação	France-Air	Rectilys ECM 2300 F5	-	Escritório, circulação, sala do pessoal, sala do chefe e CCTV
Vi3	Ventilador de insuflação	Decflex	SV/Filter 125 /H	-	Sala de quadros e IT

### 3.6 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação artificial interna do supermercado possui 15 tipos de luminárias, sendo que todas são lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*). Os modelos das luminárias juntamente com seus valores de potência e quantidade estão descritos na Tabela 23.

Tabela 23 - Descrição das luminárias presentes no edifício.

Referência (projeto)	Descrição	Potência (W)	Quantidade	Potência total (W)	Tipo
L1	OL Loreto PL LED11000-840 L6, 0 01	86	7	602	LED
L2.1	OL Neckar DA 3P 2LED4200-840 01	79	28	2.212	LED
L2.2	OL Neckar ASY 3P LED4200-840 01	40	12	480	LED
L3.1	OL Canilo 3P MD LED3000-835 A58H GELB 01	24	266	6.384	LED
L3.2	OL Canilo 3P MF LED3000-831 A60H ROT 01	24	82	1.968	LED
L3.3	OL Canilo 3P MF LED 3000-840 A59H BLAU 01	24	15	360	LED
L3.4	OL Canilo 3P FL LED 3000-835 A58H GRUN 01	24	44	1.056	LED
L4	OL Koln LD 4000x1200 LED 21900-840 ETDD 01	302	6	1.812	LED
L5	QuiraP VFL-c LED 4000-835 ET A64 ZV600 01	33	29	957	LED
L6	Balmy5630-1900LM	15	0	0	LED
O	Agira MF LED 3000-831	32	6	192	LED
G	Ambiella G2 C07 HR LED2000-830 ET 01	22	18	396	LED
L9	Oleveon 1500 LED6000-840 ET PMMA	55	32	1.760	LED
E	Siella G3 M73 OTA22 LED3400-840 ET	34	31	1.080	LED
H	7401N G2 ÇED1000-840 ET	10	1	10	LED

Na Tabela 24 estão os valores da potência total e da potência por área da iluminação de cada ambiente do edifício presente no nível 0.

Tabela 24 - Potência dos sistemas de iluminação do nível 0.

Ambiente	Potência (W)	Potência por área (W/m <sup>2</sup> )
Antecâmara de entrada/saída	416	8,4
Cafetaria	128	3,5
Armazém II	297	15,0
Sala do Chefe	68	4,5
Sala de CCTV	68	7,6
Armazém I e cais noturno	1.540	3,9
WC masculino	22	5,6
Antecâmara I.S.	22	4,4
WC feminino	44	6,3
Zona de vendas	14.458	10,2
Zona de preparação	660	7,1

A iluminação da zona de vendas está representada na Figura 28.

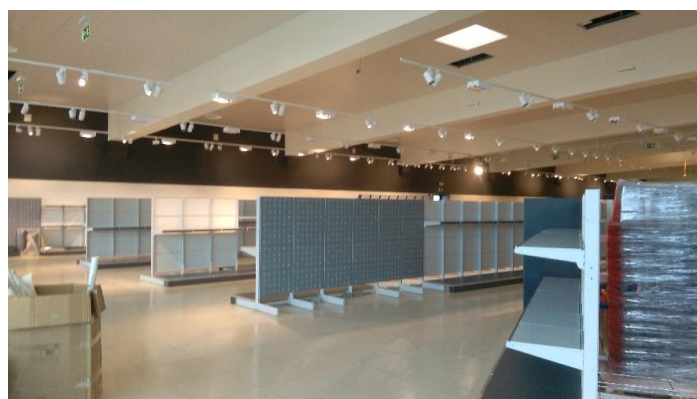


Figura 28 - Iluminação na zona de vendas.

A iluminação na zona de preparação está ilustrada na Figura 29.

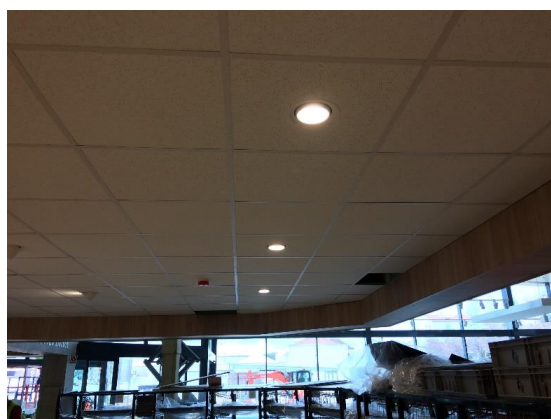


Figura 29 - Iluminação da zona de preparação.

A iluminação no cais noturno está ilustrada na Figura 30.



Figura 30 - Iluminação do cais noturno.

Na Tabela 25 estão os valores da potência total e da potência por área da iluminação de cada ambiente do edifício presente no nível 1.

Tabela 25 - Potência dos sistemas de iluminação do nível 1.

Ambiente	Potência (W)	Potência por área (W/m²)
Sala do pessoal	334	13,9
Terraço	10	0,9
Sala de aprendizagem "Leon"	68	10,5
Escritório	272	10,0
Circulação	238	9,8
Vestiário feminino	44	5,9
WC feminino	66	8,9
WC masculino	66	9,7
Vestiário masculino	44	5,6
Sala I.T.	110	7,3
Sala de quadros	110	7,6
Despensa	22	7,4

A Figura 31 mostra a iluminação do escritório.





Figura 31 - Iluminação do escritório.

A iluminação da sala do pessoal está representada na Figura 32.

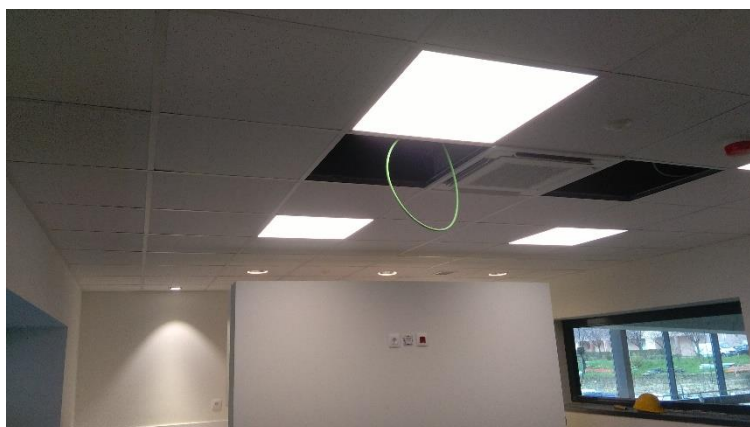


Figura 32 - Iluminação da sala do pessoal.

Portanto, a soma das potências dos sistemas de iluminação presentes nos níveis 0 e 1 (Tabela 24 e Tabela 25) resultada na **potência total referente aos sistemas de iluminação do supermercado é igual a 19,11 kW.**

### 3.7 SISTEMA DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

O edifício possui um termo acumulador elétrico de alta pressão para produção de Água Quente Sanitária (AQS), modelo MULI-F da Videira, com capacidade de 50 litros e potência nominal de 1.200 W / 230 V – 50 Hz, e o tempo de aquecimento da água para 45°C é de duas horas e dez minutos. O termo acumulador está representado na Figura 33.





Figura 33 - Termo acumulador modelo MULTI-F Vertical da Videira capacidade 50 litros.

### 3.8 CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA DO REVIT®

A simulação de análise energética utilizando o Revit® pode ser definida em cinco etapas: **1 - criação do modelo tridimensional**; **2 - definição das configurações de energia na função “Configuração de Energia”**; **3 – gerar o modelo de energia através da função “Criar o modelo de energia”**; **4 – realizar a simulação através da função “Executar Simulação de Energia”**; **5 - visualização dos resultados da simulação dinâmica energética através da função “Resultados e Comparar”**. Todas estas funções estão na aba “Analisar” no menu do Revit®.

Quando executado a simulação dinâmica energética, o utilizador deve estar com a sua conta do Autodesk® ativa no Revit®, pois automaticamente o Revit® irá realizar o carregamento no Green Building Studio® (GBS), e o descarregamento do relatório dos resultados na função “Resultados e Comparar”, quando a simulação terminar.

A função “Configuração de Energia” reúne as principais características da simulação energética, como a definição da localização do edifício; **do tipo do modelo analítico de energia, podendo ser “volumes conceptuais (*conceptual masses*)”, “elementos de construção”, ou “volumes conceptuais e elementos de construção”**; do nível de referência ; da fase do projeto que será simulada; da resolução do espaço analítico e da superfície analítica; a profundidade da zona de perímetro; e de ativar ou desativar a opção da divisão de zonas de perímetro, como mostra a Figura 34.

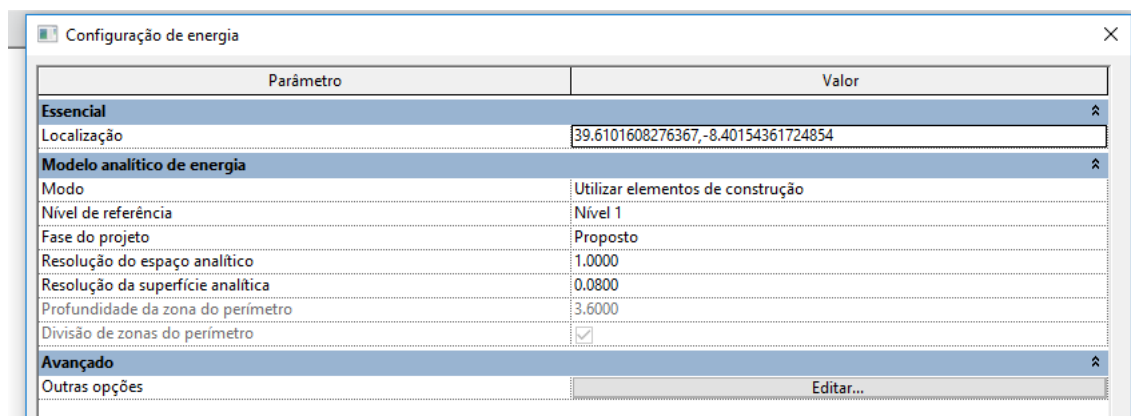


Figura 34 - Função de "Configuração de Energia" do Revit®.

A explicação mais completa sobre cada opção da janela “Configuração de energia”, está descrita a seguir:

- **Nível de referência:** determina o nível (andar), do modelo computacional que está em contato com o solo para transferência de calor;
- **Fase do projeto:** determina a fase que representa o cenário que se tem o interesse de realizar a simulação dinâmica energética, pois todos os “elementos de construção” ou “volumes conceptuais” são atribuídos a uma determinada fase do projeto. Desse modo, todos os “elementos de construção” e “volumes conceptuais” que estão incluídas em fases de projetos anteriores serão consideradas na simulação, mas elementos de fases de projetos posteriores da definida serão desconsiderados na simulação dinâmica energética;
- **Resolução do espaço analítico:** define o espaço mínimo entre os elementos construtivos do Revit® que serão ou poderão ser ignorados na identificação dos espaços (ambientes do edifício), do modelo de energia, pois a distância máxima entre os elementos que podem ser ignorados ou não, está no intervalo entre o valor da resolução definido e o seu dobro. O Revit® considera como valor padrão, o espaçamento de 457,2 mm, sendo que o valor mínimo é de 152,4 mm, e o máximo igual a 3.048 mm. Este parâmetro influencia diretamente a precisão e o tempo de processamento da simulação. Exemplificando a situação de elementos construtivos serem ou não considerados no modelo de energia, considerando uma resolução do espaço analítico igual a 457,2 mm, se a distância X entre as paredes (*wall*), ilustradas na Figura 35 for menor que 457,2 mm, o espaço analítico entre elas será ignorado, se a distância estiver entre 457,2 mm e 914,4 mm, o espaço analítico pode ou não ser ignorado, e se a distância for maior que 914,4 mm, o espaço analítico será ignorado no modelo de energia [121];

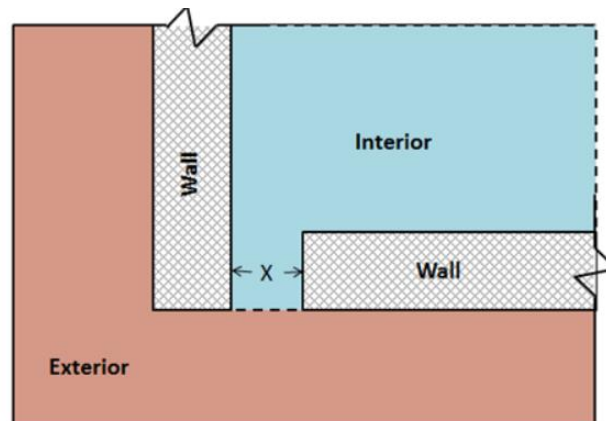


Figura 35 – Representação do espaço analítico [121].

- **Resolução da superfície analítica:** é semelhante a resolução do espaço analítico, mas este parâmetro é responsável pela capacidade do algoritmo de criação do modelo de energia conseguir identificar superfícies analíticas individuais. Por exemplo, a parede ilustrada na Figura 36 possui uma distância  $X$ , considerando que a resolução da superfície analítica é igual a 304,8 mm, e a distância  $X$  for menor que 304,8 mm, não será criada uma superfície analítica nesta região, se  $X$  estiver entre 304,8 mm e 609,6 mm (o dobro), poderá ser criada ou não uma superfície analítica nesta região, e se  $X$  for maior que 609,6 mm, será criada uma superfície analítica para esta região da parede [122];

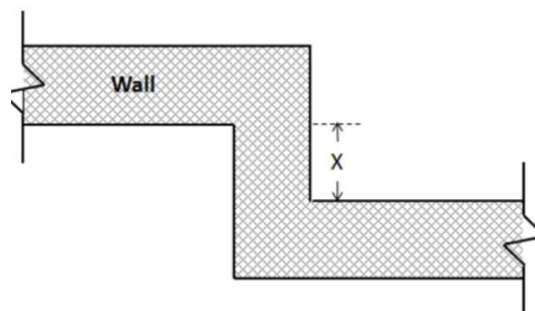


Figura 36 – Representação da superfície analítica [122].

- **Profundidade da zona do perímetro:** este parâmetro fica desbloqueado apenas para os modos de “volumes conceituais” e “volumes conceituais e elementos construtivos”, ou seja, se estiver definido o modo “elementos construtivos”, este parâmetro não pode ser alterado. A profundidade da zona do perímetro estabelece a distância da parede externa até o fundo do espaço (profundidade do ambiente do edifício), mas precisamente da zona perimetral, como mostra a Figura 37 representado pelas linhas vermelhas. Este parâmetro sempre deve ser utilizado com a configuração “Divisão de zonas de perímetros” ativa [123];

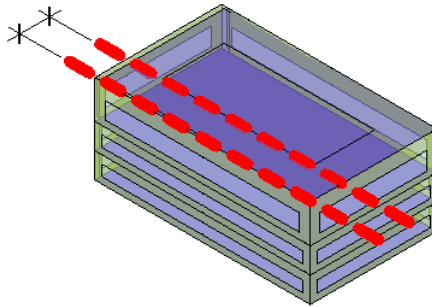


Figura 37 - Representação da zona do perímetro [123].

- **Divisão de zonas do perímetro:** esta configuração quando ativada divide o perímetro do edifício em zonas térmicas discretas (ou zonas perimetrais), as quais são utilizadas para estimar o consumo energético com maior precisão de modo individual, como mostra a Figura 38. Permitindo, por exemplo, realizar análise do ganho solar entre uma fachada ocidental com uma fachada a leste que ganha menos calor solar [123];

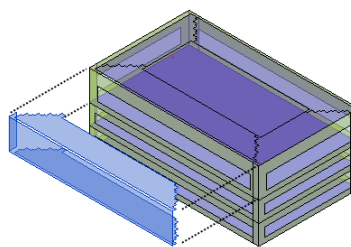


Figura 38 – Ilustração da divisão de zonas do perímetro [123].

Na janela “Configuração de Energia” a opção “Outras opções”, como ilustrado na Figura 34, abre a janela das “Configurações avançadas de energia”, a qual permite definir mais parâmetros relacionados com a simulação dinâmica energética, ilustrada na Figura 39.

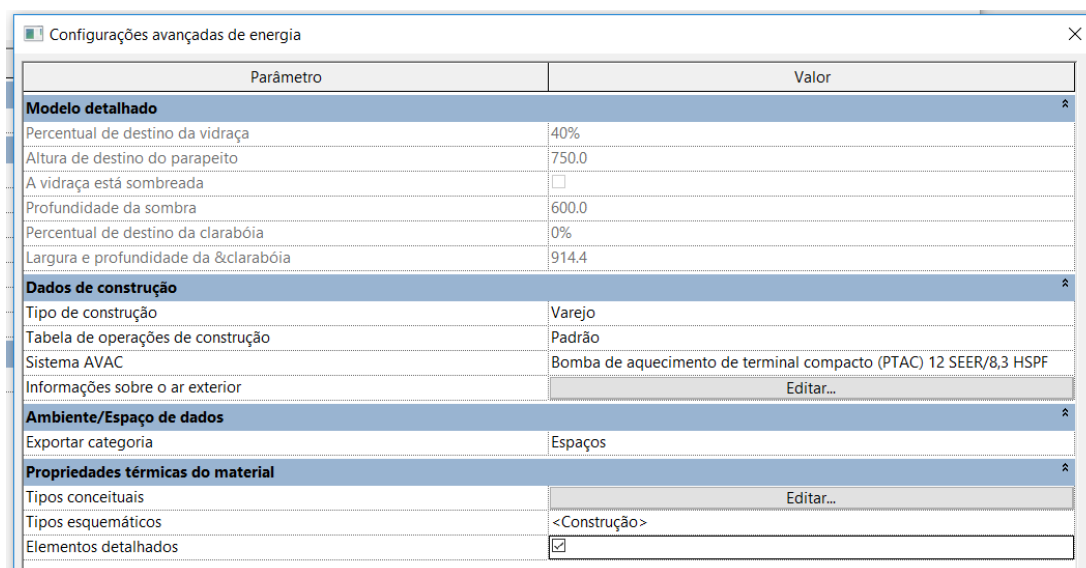


Figura 39 - Função de configurações avançadas de energia do Revit®.

Quando selecionado a opção de “volumes conceituais” é possível definir um valor percentual das áreas das paredes para que sejam consideradas como janelas; a altura dos parapeitos das janelas; permite ativar ou desativar sombreamento nas janelas; definir o percentual da área do telhado em abertura de claraboias; e a largura e profundidade da claraboia. No grupo “Dados de construção” estão presentes as opções para determinar o tipo de edifício através do “Tipos de construção”, as quais seguem a norma ASHRAE 90.1; o perfil de utilização do edifício em “Tabela de operações de construção”; o tipo de sistema de climatização; e as informações sobre o ar exterior. No grupo “Ambientes/ Espaço de dados”, é possível escolher entre utilizar as informações presentes nos ambientes definidos como “Ambientes/Salas” ou “Espaços”. No grupo “Propriedades térmicas do material”, é possível definir as envolventes presentes no edifício em três níveis de precisão, o primeiro e mais genérico, através da opção “Tipos conceituais”, o nível intermediário, através da opção “Tipos esquemáticos”, e quando ativo a opção “Elementos detalhados”, é utilizado as propriedades térmicas de cada elemento detalhado no modelo computacional, como representado Figura 39.

Os parâmetros presentes no grupo “Modelo detalhado”, na janela “Configurações avançadas de energia”, ilustrado na Figura 39, **aplicam-se somente em “volumes conceituais”**, assim os parâmetros estão descritos a seguir:

- **Percentual de destino da janela (vidraça):** determina a percentagem da área das paredes externas que serão consideradas como aberturas envidraçadas (janelas). Este parâmetro possui um intervalo de 0 a 95%, não é possível determinar valores maiores que 95%, pois é considerado a área de caixilharia da abertura envidraçada [124];
- **Altura de destino do parapeito:** determina a distância do pavimento (piso, chão) até o fundo da janela. Este parâmetro está diretamente relacionado com o parâmetro “Percentual de destino da janela”, pois dependendo do tamanho

da área da janela em relação a área da parede, o valor do parâmetro da “Altura de destino do parapeito” precisa ser ajustado para atender o tamanho da área ocupada pela janela [124];

- **A janela está sombreada:** este parâmetro quando selecionado, adiciona palas solares para sombrear as janelas e outras aberturas envidraçadas, assim influenciando diretamente os consumos com climatização devido a possibilidade de redução dos consumos com arrefecimento do ambiente, através das palas solares [124];
- **Profundidade de sombra:** este parâmetro determina a largura das palas solares ativadas pelo parâmetro “A janela está sombreada”, o qual deve estar selecionado [124];
- **Percentual de destino de claraboia:** determina a percentagem da área do telhado que deve ser ocupada por claraboias [124];
- **Largura e profundidade da claraboia:** quando o parâmetro “Percentual de destino da claraboia” for diferente de zero, este parâmetro define o tamanho das claraboias, por exemplo, se este parâmetro for igual a 1, a largura e comprimento da claraboia será igual a 1 m [124].

Os parâmetros listados a seguir são aplicados tanto para “volumes conceptuais”, “elementos detalhados”, e “volumes conceptuais e elementos detalhados”.

- **Tipo de construção:** esta opção determina o tipo de edifício que melhor representa a realidade do edifício modelado. Desse modo, cada tipo de edifício padronizado possui suposições típicas relacionadas, por exemplo, o número de horas que o edifício está aberto para os clientes. Este parâmetro é aplicado para todo o modelo, mas é possível determinar o tipo de atividade realizada em cada ambiente do edifício através das opções disponíveis para a determinação dos espaços definidos no modelo, e o tempo de funcionamento pode ser alterado pelo parâmetro “Tabela de operações de construção”. Os tipos de edifícios são: **Instalação automotiva, Centro de Convenções, Fórum Judicial, Salão de Bar e Jantar ou Lazer, Restaurante de refeições rápidas, Sala de Jantar, Quarto, Salão de Ginástica, Estação de Proteção contra incêndio, Ginásio, Hospital ou Posto de Saúde, Hotel, Biblioteca, Manufatura, Motel, Sala de Cinema, Multifamiliar, Museu, Escritório, Garagem, Penitenciária, Teatro, Delegacia Policial, Correios, Igreja, Varejo, Escola ou Universidade, Família única, Estádio de desporto, Prefeitura, Transporte, Depósito, e Oficina** [124];

- **Tabela de operações de construção:** esta opção permite alterar o cronograma de funcionamento padrão definido através do parâmetro “Tipo de construção”. A mudança do cronograma de funcionamento possibilita impactos significativos nos consumos energéticos. Todos os tipos de cronograma de funcionamento padronizados podem ser acedidos no *site* da Autodesk® [124];
- **Sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado):** esta opção permite definir o tipo de sistema de climatização padronizado que mais se assemelha com o sistema de climatização presente no edifício ou determinado no projeto, assim o utilizador não pode informar os equipamentos que realmente compõem os sistemas de climatização. Todos os tipos de sistemas de climatização padronizados estão explicados no *site* da Autodesk®<sup>1</sup>, e no ANEXO 10;
- **Informações sobre o ar exterior:** esta opção permite informar a quantidade de ar novo por pessoa, ar novo por área, e alterações de ar por hora;
- **Exportar categoria:** esta opção determina quais as informações presentes nos ambientes serão utilizadas na simulação dinâmica energética, do tipo “Ambientes/Salas” ou “Espaços” [124].

No grupo “Propriedades térmicas do material”, o Revit® possui três maneiras de determinar as propriedades térmicas dos materiais utilizados nos elementos construtivos que influenciam a análise energética, as quais são aplicadas na seguinte ordem:

- **Tipos conceptuais:** é a maneira mais genérica de se determinar as propriedades térmicas dos elementos construtivos presentes em todo o modelo, são valores padronizados [124];
- **Tipos esquemáticos:** esta opção possui mais possibilidades de escolhas referente a valores de propriedades térmicas em comparação ao “Tipos conceptuais”, e que substituem os valores definidos nos “Tipos conceptuais” [124];
- **Elementos detalhados:** quando esta opção está seleccionada, são utilizadas as propriedades térmicas especificadas em cada elemento construtivo, assim

---

<sup>1</sup> Tipos de sistemas de climatização padronizados através do link:

<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-38A9EB5B-8631-43B4-9AD6-6F532BC860D8-htm.html>

substituindo os valores definidos no “Tipos conceptuais” e “Tipos esquemáticos”, representando o comportamento térmico do edifício de maneira mais realista [124].

### 3.8.1 Fluxo de trabalho

O fluxo de trabalho, referente as medidas propostas de otimização energética, está representado através do fluxograma presente na Figura 40. O início do fluxo de trabalho é a criação do modelo tridimensional no Revit®, o qual quando finalizado era sempre testado, assim, se fosse encontrado erros no modelo, voltava para o início do fluxo para a realização das modificações necessárias no modelo, que depois era novamente testado.

Com o modelo tridimensional aprovado, a próxima etapa foi a configuração do modelo tridimensional para a realização das simulações, as quais foram divididas em duas abordagens diferentes, a primeira referente análise solar, e a outra em relação as simulações dinâmicas. A análise solar foi dividida em duas abordagens, a primeira em relação a radiação solar acumulada durante os solstícios de verão e inverno, e nos equinócios de outono e primavera, e a segunda, em relação a incidência de luz natural nos ambientes do supermercado, utilizando alguns modelos de análises padronizados. Depois foi realizado a análise dos resultados obtidos nas duas análises solares.

Em relação as simulações dinâmicas, a primeira simulação dinâmica foi com o modelo em condições reais do supermercado, com a finalidade de validar o modelo de energia criado pelo Revit®, com o consumo energético global do supermercado apresentado no certificado energético.

Com o modelo de energia do Revit® validado foram propostas medidas de otimização energética a partir das interpretações dos dados obtidos da simulação dinâmica em condições reais, e das análises solares. Assim, com as medidas definidas foram realizadas as modificações do modelo em condições reais criando os modelos referentes as medidas propostas, os quais foram simulados posteriormente. Finalizado as simulações dinâmicas, os resultados obtidos foram comparados em relação as poupanças energéticas encontradas.



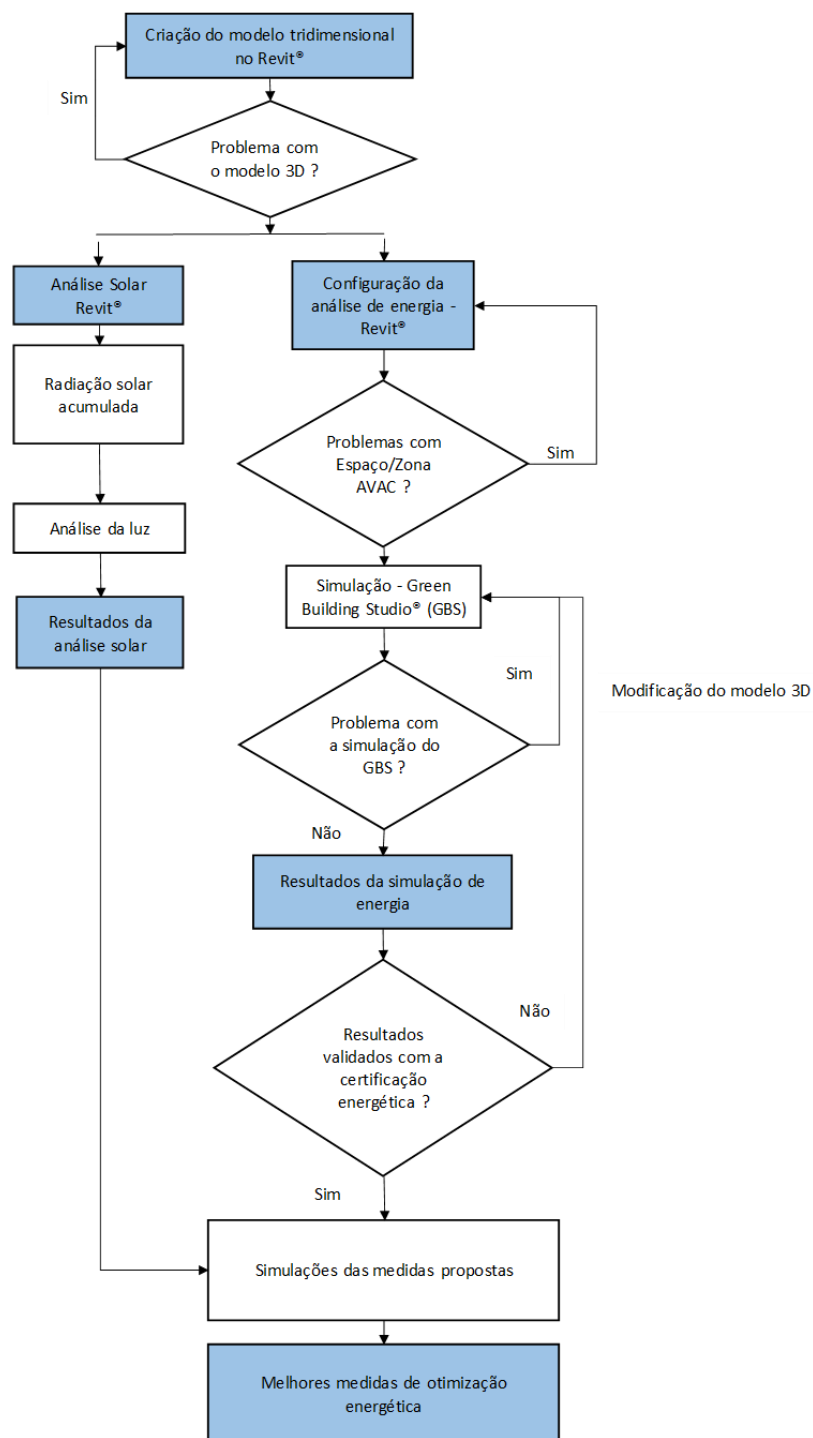


Figura 40 - Representação do fluxo de trabalho.

### 3.8.2 Modelo tridimensional

A Portaria n.º 349-D/2013 [39, p. 45], estabelece que grandes edifícios de comércio e serviços novos se utilize a simulação dinâmica multizona, situação a qual o supermercado se enquadra, consequentemente foram representados todos os ambientes existentes no supermercado, com as definições de suas respetivas atividades de utilização, número de ocupantes, sistemas de iluminação e climatização.

Portanto, o modelo tridimensional criado no Revit®, utilizou como base as plantas arquitetónicas do supermercado, sempre buscando representar com fidelidade os elementos construtivos que possuem influência na simulação energética, como as dimensões das paredes, janelas, portas, teto falso, *plenum*, fachadas envidraçadas, pisos, cobertura e os materiais de acabamento.

Para avaliar o modelo criado no Revit® de maneira qualitativa foi realizado uma comparação entre imagens com fotos do edifício real, assim foram criadas algumas vistas no modelo no Revit® parecidas com as fotos tiradas do edifício. A Figura 41 é uma foto tirada da fachada envidraçada que está voltada para a direção sudoeste.



Figura 41 – Vista exterior da fachada envidraçada voltada à direção sudoeste.

A Figura 42 é uma foto tirada da parede exterior do supermercado voltada para direção sudeste.



Figura 42 – Parede exterior do supermercado voltada para a direção sudeste.

A Figura 43 mostra uma vista exterior do modelo criado do supermercado utilizando o Revit®.



Figura 43 – Vista exterior do supermercado na direção sul do modelo em Revit®.

A Figura 44 mostra uma foto tirada na zona de vendas, próximo da antecâmara de entrada.

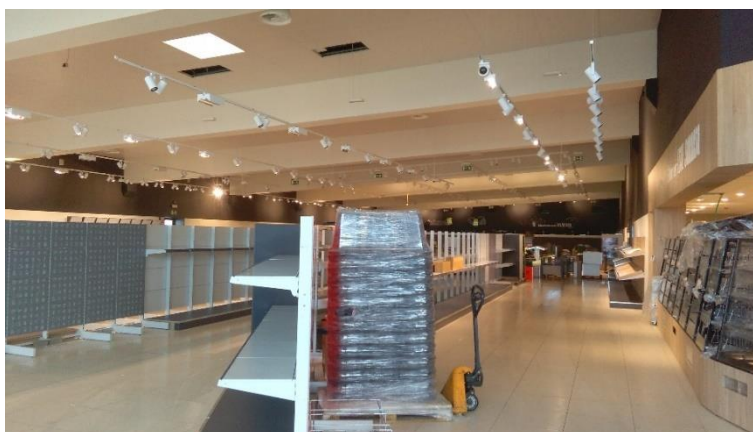


Figura 44 – Foto da zona de vendas do supermercado.

Na Figura 45 está ilustrado a vista interna da zona de vendas do modelo criado no Revit®.

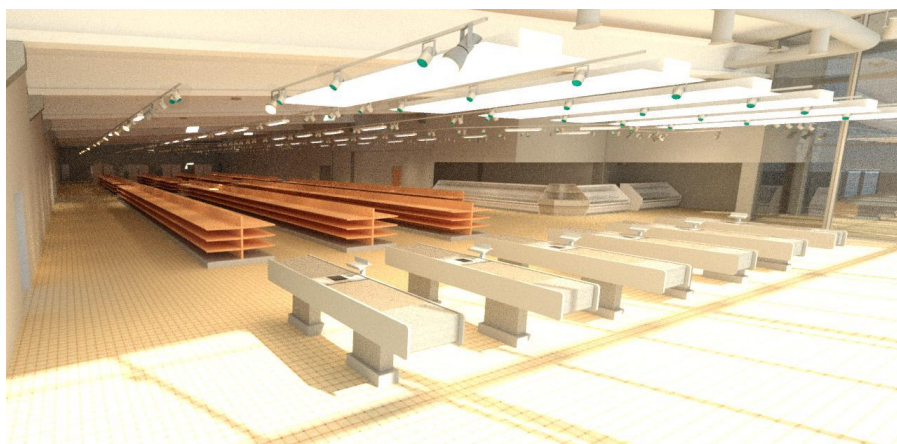


Figura 45 - Vista interior do supermercado no modelo Revit®.

As fotos do supermercado foram tiradas quando ainda ele estava em construção, mas mesmo assim, é possível perceber a semelhança entre o modelo criado no Revit® e o edifício real.

Entretanto, os primeiros modelos do supermercado criados no Revit® tiveram problemas com a execução da simulação devido alguns motivos, como limitações do *software*, erros cometidos no procedimento de modelagem, problemas com os valores de espessura, densidade, e coeficiente de transmissão térmica de alguns elementos construtivos, problemas relacionados a resolução das superfícies e espaços analíticos do modelo de energia, entre outros.

O principal erro cometido neste trabalho em relação a modelagem foi criar as paredes representando todas as suas camadas, como reboco, membrana impermeável, tinta, entre outras, pois apesar do tutorial do Revit® recomendar a criação das paredes com as suas respectivas camadas de material para realizar a quantificação dos materiais, o cálculo da resistência térmica equivalente, o coeficiente de transmissão térmica, entre outras propriedades, notou-se que quando o modelo de energia era exportado para o Green Building Studio® (GBS), os elementos construtivos com espessura menores que 2,5 cm tinham os seus materiais definidos substituídos automaticamente pelo GBS, e as simulações eram concluídas sem erros, como mostra a Figura 46, traduzindo a nota de aviso do GBS: “ A construção aim0040 tem < 2,5 cm de espessura e foi substituída por uma construção padrão”.

Project Default Utility Rates				
	Project Default Utility Rates	--	--	--
Base Run				
<input type="checkbox"/>	Tese_60_MODELO PADRÃO_v1	7/21/2017 10:45 AM	luisvendrame-viana	2,2
<input checked="" type="checkbox"/>	Alternate Run(s) of Tese_60_MODELO PADRÃO_v1_90.1-2010	7/21/2017 - GBS: The construction aim0040 is < 2.5 cm thick and has been replaced with a default construction.		
<input type="checkbox"/>	Tese_60_MODELO PADRÃO_v1_90.1-2010		viana	2,2
<input type="checkbox"/>	WWR - Northern Walls_95% -- Window Shades - North_No change -- Window Glass	7/21/2017 10:48 AM	luisvendrame-viana	2,2

Figura 46 - Representação da nota de aviso do GBS devido o elemento possuir uma espessura menor que 2,5 cm.

Entretanto, neste trabalho, os elementos construtivos que possuíam espessuras menores que 1,5 cm causavam erros na execução da simulação, assim não havendo a geração de nenhum resultado, apenas informando o elemento construtivo que estava causando o erro devido possuir uma espessura muito fina ou o valor da densidade muito alto ou muito baixo. Apesar, do GBS informar elemento construtivo que está causando o erro, o autor deste trabalho não encontrou um meio de identificar o elemento para que seja corrigido no modelo 3D, pois como a simulação não era executada, não era criado o modelo 3D respectivo a simulação, com isso não sendo possível ser visualizado no Autodesk® Design Review®, assim não sendo possível identificá-lo, e a variedade de elementos construtivos que pode causar o erro é grande dependendo da complexidade do projeto, porque pode ser qualquer parte de umas das paredes do modelo 3D, teto falso, cobertura, porta, piso, janela, ou claraboia.

Portanto, para evitar os problemas relacionados com as espessuras dos materiais, todos os elementos construtivos foram desenhados como uma única camada, e suas propriedades térmicas, como coeficiente de transmissão térmica foram calculados numa folha de cálculo Excel®, e os seus valores informados nas propriedades dos materiais no modelo do Revit® com a equivalência das suas respectivas espessuras, desse modo, também permitiu considerar as resistências superficiais exterior e interior, sendo que o Revit® não as considera em seus cálculos, assim o único meio de informar os seus valores é através da modificação dos valores das propriedades dos materiais utilizados na modelagem.

Em relação as configurações do modelo de energia, foi encontrado uma limitação referente as dimensões das superfícies e espaços analíticos. Quando os espaços analíticos possuíam dimensões pequenas ocorria a divisão de alguns ambientes, como na zona de vendas que era dividida em três ambientes com os mesmos dados de entrada informados, assim, a potência total do sistema de iluminação da zona de vendas passava a ser três vezes maior, e/ou não reconhecia os dados de entrada informados nos ambientes modelados, com isso o GBS passava a utilizar dados padronizados.

Desse modo, para evitar os problemas do reconhecimento dos ambientes no modelo de energia foram testados valores maiores para as dimensões dos espaços e superfícies analíticos, e percebeu-se que para valores grandes, os ambientes



pequenos, como a sala do chefe, sala CCVT, os vestiários, e as casas de banho eram desconsideradas do modelo energia por possuírem dimensões menores que as definidas para o espaço e superfície analítica, entretanto a zona de vendas era considerada normalmente.

Portanto, para definir a melhor dimensão para o espaço e superfície analíticos que representem com fidelidade os ambientes do supermercado, foram realizados testes com diversas combinações entre as dimensões. Então, o melhor valor encontrado para espaço analítico foi igual a 1 metro, e para a superfície analítica, o melhor valor encontrado foi igual a 0,08 metros.

Assim, devido às dificuldades, erros e limitações do Revit®, o modelo tridimensional do supermercado sofreu diversas modificações nos seus elementos construtivos e foram realizadas algumas simplificações, com isso mudando a sua vista exterior, eliminando o revestimento exterior em aço, como mostra a Figura 47, mas as dimensões dos ambientes foram mantidas.



Figura 47 – Vista exterior do supermercado criada utilizando o Revit®.

### 3.8.3 Análise energética em condições reais

Os resultados da simulação dinâmica energética em condições reais serão utilizados como referência para analisar as medidas de melhorias que serão simuladas, buscando quantificar o impacto de cada medida de melhoria no consumo energético do supermercado.

Os valores dos coeficientes de resistência térmica das envoltentes opacas (paredes, telhado e pavimentos), utilizados no modelo energético do Revit® foram os mesmos valores especificados nas **secções 3.4.1 Envoltentes opacas externas do supermercado** e **3.4.2 Envoltentes opacas internas do supermercado**, deste trabalho.

As envoltentes envidraçadas utilizadas na simulação se diferem nas características térmicas, pois o Revit® padroniza os elementos envidraçados, com isso o Revit® não permite que o usuário preencha as informações dos elementos envidraçados. Desse modo foi escolhido um elemento envidraçado que mais se assemelha com a realidade,

sendo o “*Low-E triple grazing SC=0.2*”, que possui uma transmissão de luz visível igual a 55%, um coeficiente de ganho de calor (*Solar Heat Gain Coefficient – SHGC*), igual a 0,26, resistência térmica de 0,69 m<sup>2</sup>C/W, e coeficiente de transmissão térmica igual a 1,46 W/m<sup>2</sup>°C. Os demais modelos de elementos envidraçados padronizados pelo Revit® estão no ANEXO 4.

### 3.8.4 Dados climáticos e localização

O Revit® possui um serviço de mapeamento *online*, e utiliza o banco de dados climáticos da Autodesk®, assim quando definido a localização do edifício, é selecionado automaticamente a estação climática mais próxima que irá fornecer os dados necessários para a simulação dinâmica, como temperatura de bolbo seco, temperatura do ponto de orvalho, humidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação normal direta, radiação horizontal global e difusa.

A distribuição da radiação horizontal global ao longo do ano utilizada nas simulações dinâmicas do Green Building Studio®, referente a região de Tomar, está representada na Figura 48.

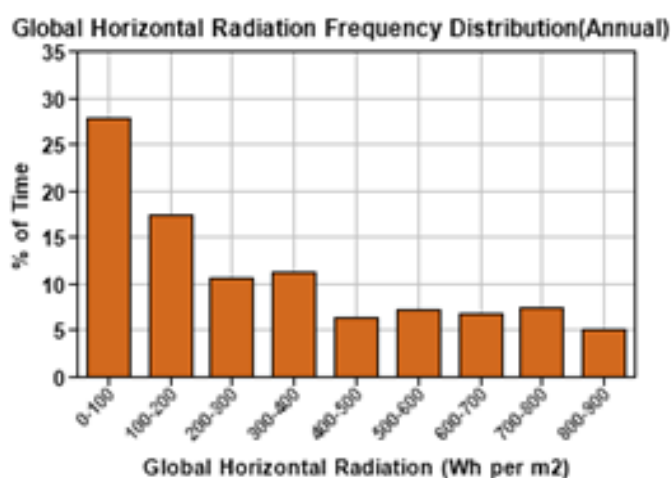


Figura 48 – Distribuição da radiação horizontal global para a região de Tomar.

A Figura 49 representa a distribuição da radiação horizontal difusa ao longo do ano para a região de Tomar, utilizada nas simulações dinâmicas realizadas no Green Building Studio®.

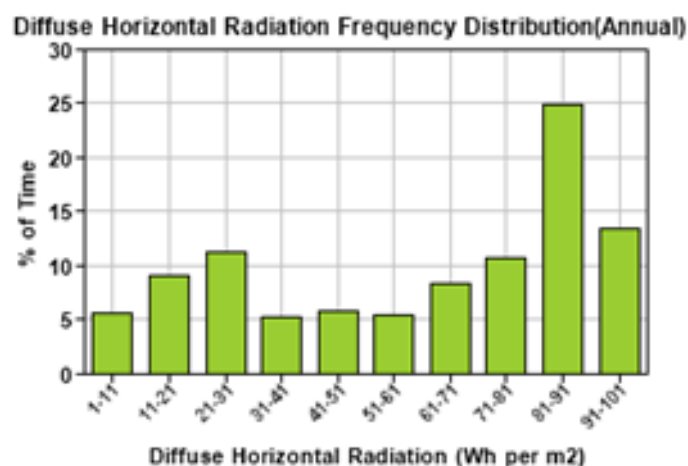


Figura 49 - Distribuição da radiação horizontal difusa para a região de Tomar.

Alguns dados climáticos estão presentes no relatório gerado pelo Revit® (ANEXO 7), entretanto, todos os dados climáticos utilizados nas simulações dinâmicas estão disponíveis no *site* do Green Building Studio®.

### 3.8.5 Diagramas de ocupação, iluminação e equipamentos elétricos

Como comentado na **secção 2.5 GREEN BUILDING STUDIO®**, o GBS possui perfis padronizados para a densidade de ocupação, e da utilização dos sistemas de iluminação e dos equipamentos elétricos para cada tipo de edifício. Entretanto, o Revit® permite definir de maneira rápida o perfil de densidade de ocupação para todo o edifício, através da opção “Tabela de operação de construção” presente na janela “Configurações avançadas de energia”, abordada na **secção 3.8 CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA DO REVIT®**, ilustrada pela Figura 39.

As opções das densidades de ocupação estão descritas no ANEXO 8, sendo elas: **24/7 Facility, 24/6 Facility, 24/5 Facility, 12/7 Facility, 12/6 Facility, 12/5 Facility, K-12 School, Escola Anual, Teatro/Artes cênicas, e Igreja**. Caso, seja selecionado qualquer tipo de densidade de ocupação, o tipo selecionado sobrepõe todos os perfis informados no modelo do projeto criado em Revit®. Portanto, para a simulação dinâmica utilizar os perfis definidos em cada espaço do modelo em Revit®, na janela de “Configuração avançada de energia”, na opção “Tabela de operações de construção”, deve selecionar a opção “**Padrão**”, assim os perfis informados serão utilizados na simulação.

O supermercado possui alguns equipamentos elétricos que ficam ligados durante 24 horas por sete dias da semana, como as arcas frigoríficas e a câmara fria, mas o período que o ocorre o maior consumo de energia é entre 8h30min às 22h, quando ele



está aberto para o público. Desse modo, os sistemas de ocupação e iluminação são mais utilizados no período que o supermercado está aberto para os clientes, assim fora este período o perfil de ocupação e de utilização possui valores menores e em algumas horas igual a zero, e o perfil de utilização dos equipamentos elétricos (demais cargas elétricas), diminui no período que o supermercado não está aberto para o público, mas mantém um valor constante durante 24h relacionado aos equipamentos elétricos que mantém os produtos conservados em baixa temperatura. Portanto os perfis de ocupação, e de utilização foram definidos com a finalidade de representar de maneira mais fiel a realidade do supermercado.

O número de ocupantes do edifício foi definido por ambiente, e o ganho de calor sensível e latente provenientes destes ocupantes foram estabelecidos com base no livro “ASHRAE Handbook – Fundamentals” [125, p. 409], os valores utilizados estão descritos na Tabela 26.

Tabela 26 - Número de ocupantes por ambiente e seus respectivos ganhos de calor sensível e latente.

Ambiente	Número de ocupantes	Ganho de calor sensível por pessoa (W)	Ganho de calor latente por pessoa (W)
Cafeteria	10	71,8	45,63
Sala do chefe	1	73,27	58,61
Sala de CCTV	1	73,27	58,61
Zona de vendas	120	73,27	58,61
Zona de preparação	2	80,60	139,20
Terraço	4	71,80	45,63
Sala de aprendizagem “Leon”	1	73,26	58,61
Escritório	4	73,27	58,61
<b>Total</b>	<b>143</b>		

O perfil de densidade de ocupação do supermercado foi considerado o mesmo para todos os ambientes, assim a partir das 5h inicia a chegada dos funcionários no supermercado, depois das 8h o supermercado está aberto para os clientes. Nos períodos das 8h às 10h e 17h às 21h foram determinados os picos máximos de ocupação. O pico máximo de ocupação do período da manhã, está relacionado com as pessoas que vão para o supermercado realizar o pequeno almoço e/ou realizar compras. O pico máximo no final da tarde, está relacionado com as pessoas que saem do expediente de trabalho, passam no supermercado para realizar as compras. Assim, o perfil de ocupação do supermercado está ilustrado na Figura 50.

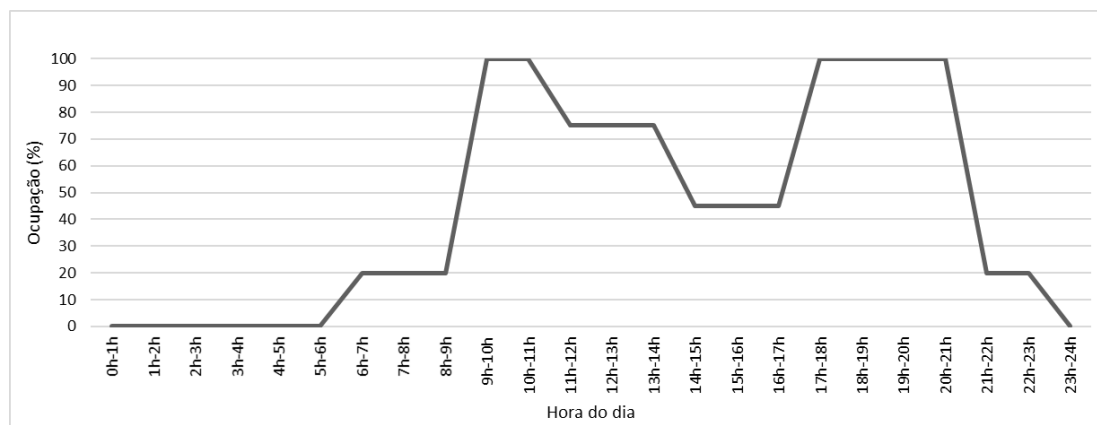


Figura 50 - Perfil de densidade de ocupação do supermercado.

O perfil de utilização da iluminação elétrica foi considerado o mesmo para todos os sistemas de iluminação presentes no supermercado. Desse modo, o período entre as 5h e as 8h é referente a chegadas dos funcionários, os quais utilizam apenas 20% da iluminação, depois de aberto para os clientes, a taxa de utilização da iluminação passa a ser igual a 100% até às 22h, e depois os funcionários fecham o estabelecimento e saem às 24h, assim considerando uma taxa de utilização de 20% até a meia noite, como mostra a Figura 51.

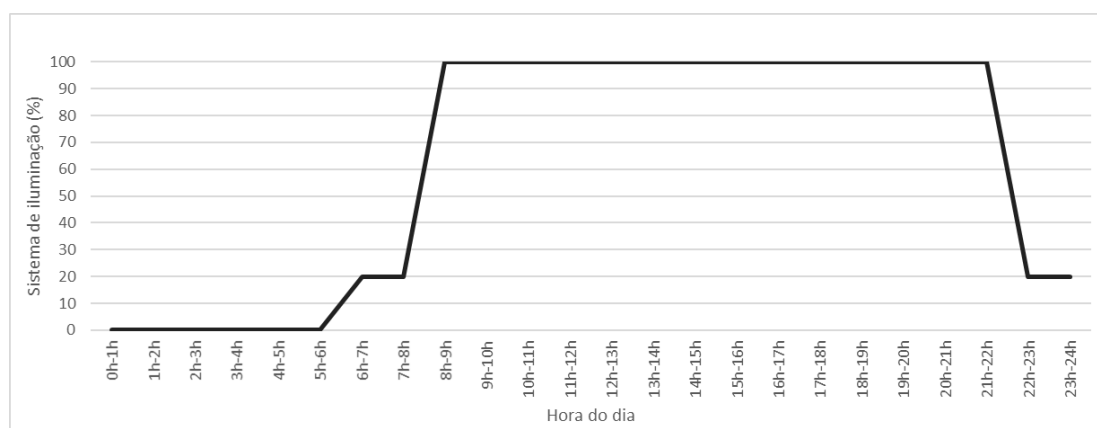


Figura 51 - Perfil de utilização do sistema de iluminação elétrica.

Os demais equipamentos que consomem energia elétrica estão descritos por cada ambiente do supermercado na **seção 3.8.8 Equipamentos elétricos presentes no supermercado**. Entre as 24h e as 5h, o perfil representa as câmaras frias e os demais equipamentos responsáveis pela conservação dos alimentos, e das 8h às 20h a utilização dos equipamentos foram consideradas máximas, como mostra a Figura 52.

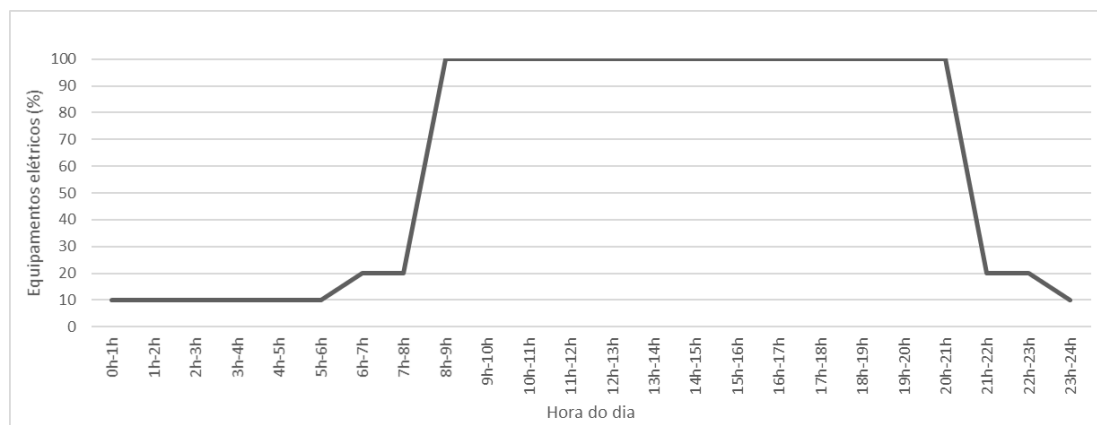


Figura 52 - Perfil de utilização dos equipamentos elétricos.

### 3.8.6 Sistema de climatização e ventilação

O Revit® não permite que o utilizador informe os equipamentos que formam os sistemas de climatização, pois os tipos de sistemas de climatização são padronizados com base nos dados levantados pela CBECS, como comentado na **secção 2.5 GREEN BUILDING STUDIO®**. Os tipos de sistema de climatização padronizados presentes no Revit® estão listados a seguir:

- Sistema de gás dividido/compacto 12 SEER/0.9 AFUE, 5-11 Ton;
- Ventilação/Ar-condicionado compacto 11.3 EER, 84,4% aquecimento de caldeira;
- Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento HW, Resfriador 5,96 COP, caldeiras com eficiência de 84,5%;
- Sistema de *Fan Coil* 4-tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras eficiência 84,5%;
- Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento de resistência elétrica, Resfriador 5,96 COP;
- Bomba de aquecimento de sistema dividido compacto 12 SEER/7,7 HSPF;
- Sistema de *Fan Coil* com 2 tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras eficiência 84,5%;
- Bomba de aquecimento de terminal compacto (PTAC) 12 SEER/8,3 HSPF;

- Bomba de aquecimento de sistema dividido residencial 17 SEER/9.6 HSPF <5,5 Ton;
- Distribuição de ar abaixo do piso;
- Gás de sistema dividido/compacto residencial 14 SEER/0.9 AFUE <5,5 Ton;
- Bomba de aquecimento de sistema dividido compacto residencial 14 SEER/8,3 HSPF.

As características dos tipos de sistemas de climatização, como equipamentos de climatização utilizados, eficiência do sistema, e aplicação, estão apresentados no ANEXO 10.

O tipo de sistema de climatização que mais se aproximou dos consumos descritos na certificação energética foi a **Bomba de aquecimento de terminal compacto (PTAC) 12 SEER/8,3 HSPF**, o qual foi selecionada para simulação dinâmica energética do supermercado em condições reais, como mostra a Figura 53.

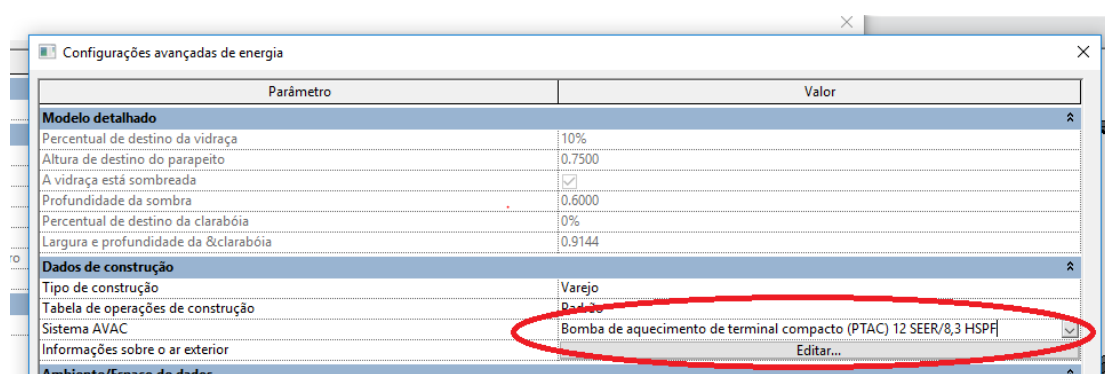


Figura 53 - Escolha do sistema de climatização no Revit®.

As temperaturas de aquecimento e arrefecimento de todos os ambientes climatizados do edifício foram definidas sendo 25°C e 30°C.

### 3.8.7 Sistema de água quente sanitária

O Revit® até sua versão 2018, não permite que o utilizador introduza modelos de equipamentos de sistemas de água quente sanitária. Assim, o sistema de água quente sanitária é selecionado junto com o tipo de sistema de climatização, que neste caso, está incluindo na **Bomba de aquecimento de terminal compacto (PTAC) 12 SEER/8,3 HSPF**.

O consumo de energia do sistema de água quente sanitária, não é quantificado em energia elétrica, mas em **gás natural**, e o Revit® não permite alterar a fonte de energia.

### 3.8.8 Equipamentos elétricos presentes no supermercado

Os equipamentos elétricos presentes no supermercado e que foram considerados na simulação dinâmica energética estão descritos da Tabela 27 à Tabela 36.

#### Zona de vendas

Tabela 27 - Equipamentos presentes na zona de vendas.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Caixas	6	155	930
Balanças	6	55	330
ATM	1	200	200
Vídeo vigilância	1	120	120
Computador	1	155	155
Serra (peixaria)	1	50	50
Equipamentos de frios	-	-	24.800
<b>Total</b>			<b>26.585</b>

#### Sala do chefe

Tabela 28 - Equipamentos presentes na sala do chefe.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Computador	1	155	155
Impressora	1	70	70
Contador de moedas	1	60	60
Cofre	1	80	80
Triturador de papel	1	375	375
Bastidor	1	400	400
<b>Total</b>			<b>1.140</b>

**Sala CCTV**

Tabela 29 - Equipamentos presentes na sala de CCTV.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Computador	1	155	155
Impressora	1	70	70
<b>Total</b>			<b>225</b>

**Escritório**

Tabela 30 - Equipamentos presentes no escritório.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Computador	2	155	310
Impressora	1	70	70
Contador de moedas	1	60	60
Cofre	1	80	80
Triturador de papel	1	375	375
<b>Total</b>			<b>895</b>

**Sala de Aprendizagem “Leon”**

Tabela 31 - Equipamentos presentes na sala de aprendizagem.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Computador	1	155	155
Impressora	1	70	70
<b>Total</b>			<b>225</b>

**Armazém I e cais noturno**

Tabela 32 - Equipamentos presentes no armazém I.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Carregador de baterias	1	1.296	1.296
Máquina de lavar chão	1	800	800
<b>Total</b>			<b>2.096</b>

**Zona de preparação**

Tabela 33 - Equipamentos presentes na zona de preparação.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Computador	1	18.700	18.700
<b>Total</b>			<b>18.700</b>

**Armazém II**

Tabela 34 - Equipamentos presentes no armazém II.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Carregador de baterias	1	1.296	1.296
Máquina de lavar chão	1	800	800
<b>Total</b>			<b>2.096</b>

**Sala IT**

Tabela 35 - Equipamentos presentes na sala IT.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Equipamentos elétricos	-	-	900
Iluminação dedicada	-	-	100
<b>Total</b>			<b>1.000</b>

**Sala de quadros**

Tabela 36 - Equipamentos presentes na sala de quadros.

Descrição	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Equipamentos elétricos	-	-	900
Iluminação dedicada	-	-	100
<b>Total</b>			<b>1.000</b>

### 3.9 SIMULAÇÃO DINÂMICA DO SUPERMERCADO EM CONDIÇÕES REAIS

Para a realização da simulação dinâmica utilizando o *software* Revit®, precisa-se definir os ambientes do supermercado no modelo computacional como “espaço”, pois os dados de entrada utilizados na simulação são informados somente em áreas do tipo “espaço”, e configurar o modelo de energia, como comentado na **secção 3.8 CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA DO REVIT®**, através da janela “Configurações de energia”.

Os dados de entrada da simulação dinâmica são definidos nos “espaços” modelados no Revit®, sendo alguns como: se o espaço é do tipo *plenum*; se é ocupado ou não; o tipo de sistema de climatização; o tipo de ambiente (quarto, cozinha, armazém, entre outros tipos disponíveis no Revit®); o tipo de construção; a quantidade de pessoas; as cargas elétricas; entre outros dados utilizados. Sendo que, os dados de entrada podem ser informados de três maneiras diferentes. A **primeira**, através de uma vista em planta onde estejam visíveis os espaços a caracterizar, assim selecionado o espaço irá aparecer no menu propriedades, no grupo “Análise da energia”, como ilustrado na Figura 54.

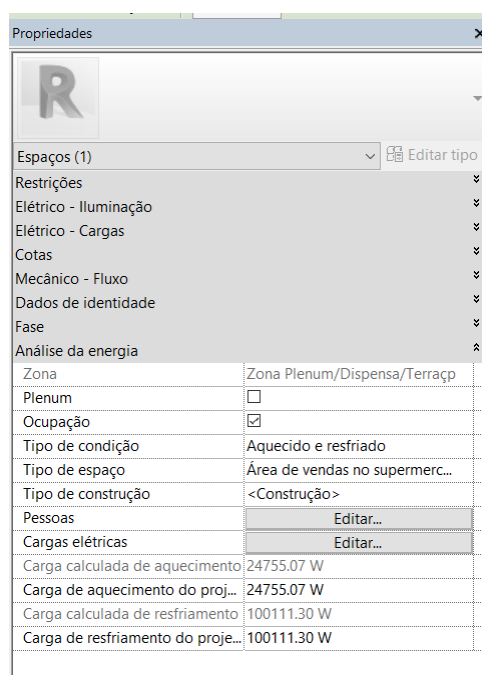


Figura 54 - Janela de "Propriedades" do Revit®.

A **segunda** maneira é por meio da janela “Cargas de aquecimento e arrefecimento”, na aba detalhe, é possível indicar os dados de entrada selecionando o espaço (ambiente) desejado, como ilustrado na Figura 55.



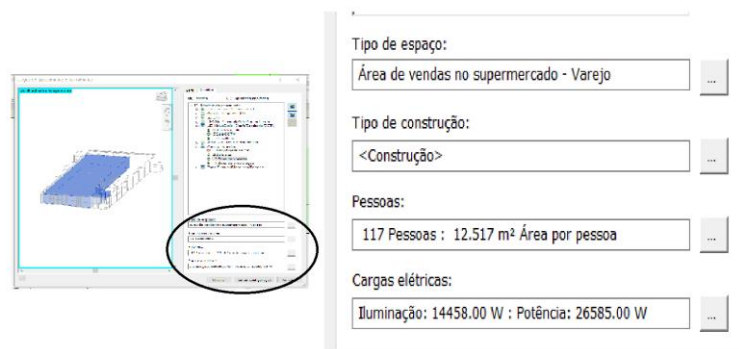


Figura 55 - Opções para informar os dados de entrada na janela das cargas de aquecimento e resfriamento do Revit®.

A **terceira e última maneira** de se informar os dados de entrada da simulação dinâmica é por meio da criação de tabelas através Revit® contendo os próprios dados de entrada, as tabelas possuem um certo grau de liberdade para que o utilizador possa editá-las. Um exemplo das tabelas criadas pelo Revit® está apresentada na Figura 56.

<Dados - Espaços - Completa>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Number	Name	Area per Perso	Sensible Heat	Latent Heat Gai	Specified Power Load	Specified Power Load per ar	Plenum Lighting Contrib
1	Antecâmara de E/S	0.00 m²	0 W	0 W	0 W	0.00 W/m²	0.00%
2	Cafeteria	3.40 m²	72 W	46 W	0 W	0.00 W/m²	0.00%
3	Armazém II	0.00 m²	0 W	0 W	2096 W	105.93 W/m²	0.00%
4	Sala do chefe	15.00 m²	73 W	59 W	1140 W	76.00 W/m²	0.00%
5	Sala C.C.T.V	8.92 m²	73 W	59 W	225 W	25.22 W/m²	0.00%
6	Armazém I e cais noturno	0.00 m²	0 W	0 W	20716 W	39.37 W/m²	0.00%
7	WC masc. Piso 0	0.00 m²	0 W	0 W	0 W	0.00 W/m²	0.00%
8	Antecâmara I.S. Piso 0	0.00 m²	0 W	0 W	0 W	0.00 W/m²	0.00%
9	WC femi. Piso 0	0.00 m²	0 W	0 W	0 W	0.00 W/m²	0.00%
10	Zona de vendas	12.52 m²	73 W	59 W	26585 W	18.15 W/m²	0.00%
11	Zona de preparação	28.89 m²	81 W	139 W	18700 W	323.60 W/m²	0.00%
12	Sala do pessoal	4.35 m²	73 W	59 W	2580 W	74.16 W/m²	0.00%
13	Terraço	2.79 m²	72 W	45 W	0 W	0.00 W/m²	0.00%
14	Sala de aprend. "Leon"	6.50 m²	73 W	59 W	225 W	34.61 W/m²	0.00%
15	Escritório	6.80 m²	73 W	59 W	895 W	32.88 W/m²	0.00%

Figura 56 – Exemplo de tabela editável criada no Revit® para preencher as variáveis relacionadas com a simulação dinâmica energética.

Depois da realização do preenchimento de todos os dados de entrada em cada espaço definido no modelo do Revit®, gerou-se o modelo de energia, o qual está representado na Figura 57.

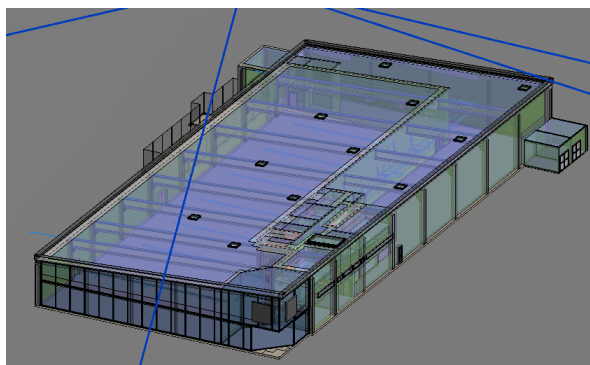


Figura 57 - Modelo de energia gerado para a análise energética.

Após o modelo de energia ter sido gerado, a última etapa para a realização da simulação dinâmica energética no Revit® é a sua execução através da função “Executar simulação de energia”, localizado no menu “Analisar”, no grupo “Análise de energia”. Desse modo, o Revit® irá exportar automaticamente o modelo de energia gerado em formato .gbXML para o Green Building Studio® que realizará a simulação dinâmica energética, que, quando finalizada, descarrega automaticamente o relatório dos resultados da análise da simulação dinâmica para o Revit® instalado no computador do utilizador. O relatório dos resultados da simulação dinâmica pode ser visualizado através da função “Resultados e Comparar” no próprio Revit®, ou acedendo à página *web* do Green Building Studio® através de um navegador de internet.

Para os cálculos dos custos energéticos anuais presentes na simulação energética do supermercado foi estabelecido **o preço da energia elétrica igual a 0,13 €/kWh, e do gás natural igual a 1,22 €/MJ.**

O consumo e custo energético anual do supermercado obtidos através da simulação dinâmica estão representados na Figura 58.

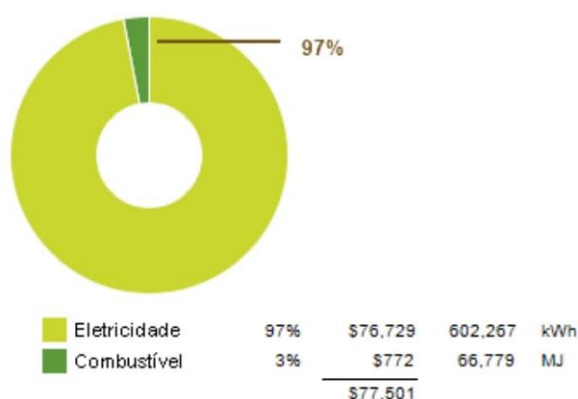


Figura 58 - Consumo anual de energia do supermercado.

O consumo de energia elétrica simulado corresponde a 97%, e o consumo do combustível (gás natural), utilizado no sistema de água quente sanitária, corresponde a 3% do consumo total anual de energia do supermercado, que representa um custo anual de 77.501,00 €, como ilustrado na Figura 58. Entretanto, o supermercado não consome combustível (gás natural), assim convertendo o consumo de combustível de MJ para kWh, sendo que 1 MJ = 0,27778 kWh, logo 66.779,00 MJ de combustível é igual a 18.549,74 kWh. Desse modo, **o consumo acumulado de energia do supermercado é igual a 620.816,70 kWh/ano** (602.267,00 + 18.549,74 = 620.816,70), o que corresponde ao **custo energético anual de 80.706,17 €.**

Para determinar se o modelo criado no Revit® estava calibrado, foi realizado uma comparação entre os consumos e custos anuais de energia, através dos valores obtidos do certificado energético do supermercado (ANEXO 6), pois até o momento não existia faturas energéticas devido o supermercado ter sido inaugurado no mesmo período da

realização deste trabalho, e da simulação em condições reais, os quais estão representados na Tabela 37, sendo que os dados apresentados no certificado energético foram obtidos através do *software* de Trace® 700.

Tabela 37 - Percentagem do desvio dos custos obtidos através da simulação dinâmica em relação ao certificado energético.

	Consumo global de energia (kWh/ano)	Custo anual de energia (€/ano)
Certificado energético	575.443,00	74.808,00
Simulação em condições reais	620.816,70	80.706,17
<b>Desvio</b>		<b>7,88%</b>

O desvio obtido foi de 7,88%, assim o **modelo em condições reais é válido**, pois o desvio máximo segundo os autores J. J. C. Gomes [72, p. 34], J. F. N. Cartas [71, p. 5], e A. R. Siopa [73, p. 20], é de 10% em relação ao consumo energético do edifício ao longo do ano, sendo que neste trabalho foi considerado o consumo energético informado pelo certificado energético.

O consumo de energia elétrica é dividido pelo Green Building Studio® entre o sistema de climatização (AVAC), sistema de iluminação, e equipamentos elétricos diversos, assim não é considerado a energia consumida pelo sistema de água quente sanitária. O consumo elétrico simulado do supermercado está ilustrado na Figura 59.

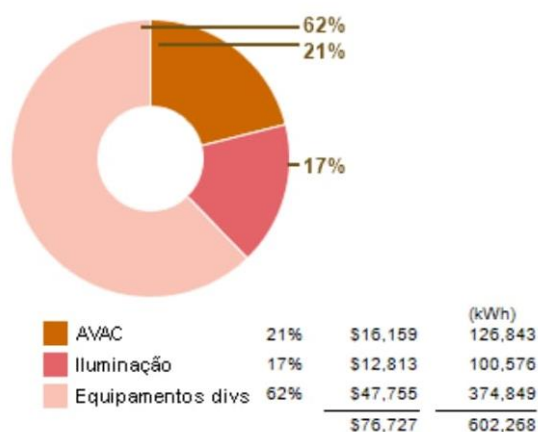


Figura 59 – Consumo anual de energia elétrica por sector consumidor sem considerar os equipamentos de água quente sanitária.

Observa-se através da Figura 59, que os equipamentos elétricos que foram considerados na **secção 3.8.8 Equipamentos elétricos presentes no supermercado** são os maiores consumidores de energia elétrica do supermercado, correspondendo a 62% da energia elétrica total consumida, seguido pelo sistema de climatização, que

corresponde a 21% da energia elétrica total consumida, e por último, o sistema de iluminação, com 17% da energia elétrica total consumida.

As quantidades energéticas consumidas são divididas entre os sistemas de iluminação, dos equipamentos elétricos presentes no supermercado, e o sistema de climatização considerando o consumo elétrico do sistema de água quente sanitária, e as suas respetivas percentagens em relação ao consumo total de energia ao longo do ano, referentes ao modelo em condições reais e o certificado energético, estão representadas na Tabela 38.

Tabela 38 – Comparação do consumo de energia elétrica entre os setores consumidores da simulação dinâmica e do certificado energético do supermercado.

Cenário	Energia elétrica total consumida (kWh/ano)	Energia elétrica consumida pelo sistema de climatização (kWh/ano)	Energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação (kWh/ano)	Energia elétrica consumida pelos equipamentos elétricos diversos (%)
Simulação em condições reais	620.816,70	145.395,27 (23,42%)	100.576,00 (16,20%)	374.849,10 (60,38%)
Certificado energético	575.443,00	76.476,37 (13,29%)	97.422,50 (16,93%)	401.544,10 (69,78%)

Com base na Tabela 38, nota-se que a quantidade de energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação do modelo em condições reais possui um valor próximo ao apresentado no certificado energético, e suas proporções em relação aos seus respetivos consumos energéticos totais, possuem valores próximos, o que demonstrou que a representação do sistema de iluminação no modelo em condições reais está semelhante com a realidade do supermercado.

O consumo elétrico referente aos equipamentos elétricos presentes no modelo em condições reais, possui uma diferença significativa em relação ao consumo apresentado no certificado energético, possivelmente devido a diferença nos equipamentos elétricos considerados, e nas suas respetivas potências, além da possível diferença nos perfis de utilização definidos na simulação dinâmica do Revit® e do Trace® 700.

Em relação ao sistema de climatização, o modelo em condições reais apresentou o consumo energético com valores próximos do dobro da energia consumida apresentada no certificado energético, sendo o setor consumidor do supermercado com maior discrepância em relação ao certificado energético, isto provavelmente ocorreu, devido o Revit® não permitir especificar os equipamentos de ventilação e ar-

condicionado presentes no supermercado, como foi realizado no Trace® 700 para a realização do certificado energético.

Portanto, como o objetivo principal deste trabalho é a otimização energética do supermercado, logo é necessário que as medidas propostas para a redução dos consumos energéticos precisão ser aplicadas nos respetivos setores consumidores comentados anteriormente. Assim, apesar dos equipamentos elétricos serem os maiores consumidores energéticos, não foi considerado a possibilidade de propor medidas de otimização referentes a eles, por ter sido considerado há impossibilidade da substituição dos equipamentos por modelos mais eficientes, e por não poder alterar os perfis de funcionamento, logo, as medidas de otimização energética estão presentes nos sistemas de iluminação e de climatização.

Na próxima secção foram realizadas interpretações e análises referentes aos resultados obtidos através da simulação dinâmica do modelo em condições reais, sendo que o relatório completo está presente no ANEXO 7.

### 3.10 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA EM CONDIÇÕES REAIS

Segundo a Autodesk® [126], os principais fatores que influenciam o desempenho energético de um edifício são: **localização, estação climática, temperatura externa, área do piso, área da parede externa, alimentação (potência) de iluminação média, ocupantes, relação de janela externa, custo elétrico, e custo de combustível.**

A interpretação dos resultados possui como foco a análise do comportamento térmico do supermercado através da distribuição do consumo elétrico mensal; do consumo elétrico entre o sistema de climatização, o sistema de iluminação, e os equipamentos diversos; das cargas térmicas mensais de aquecimento e arrefecimento durante um ano; e da temperatura externa ambiente da região onde está localizado o supermercado, para que se possam definir as características construtivas e sistemas consumidores de energia presentes no supermercado, com potencial para se propor medidas de otimização da eficiência energética com impacto significativo na redução do consumo energético.

A Figura 60 representa o gráfico do consumo mensal de energia elétrica do supermercado obtido através da simulação dinâmica energética.

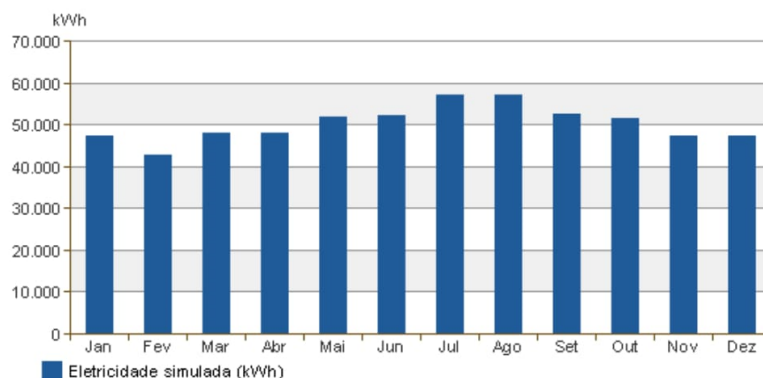


Figura 60 - Consumo mensal de eletricidade do supermercado.

Por meio da Figura 60, notou-se que os maiores consumos de energia elétrica do supermercado ocorrem nos meses de julho e agosto, com isso buscou-se entender o motivo deste fato, sendo que o primeiro ponto levantado foi relacionar os meses com a estação do ano que os mesmos pertencem, que neste caso é verão.

Assim, por causa dos maiores consumos energéticos ocorrerem no verão, foi analisado o gráfico que representa o perfil de temperaturas mensais da região em que o supermercado está localizado (cidade de Tomar), ilustrado na Figura 61, onde o item da legenda “**Média mensal mínima e máxima diária**” (verde claro), representa as temperaturas do bolbo seco mínima diária e máxima média para cada mês; o item “**Bolbo seco médio**” (amarelo), representa a média das temperaturas horárias do bolbo seco para cada mês; o item “**Bolbo seco de refrigeração 1%**” (verde escuro) indica a temperatura do bolbo seco externo, e o 1% significa que a temperatura externa excede em 1% do número de horas durante um ano climático típico, dado utilizado para calcular as cargas de arrefecimento; e o item “**Bolbo seco de aquecimento 99%**” (verde azulado) representa a temperatura do bolbo seco externo, e o 99% significa que, na média, a temperatura externa excede em 99% do número de horas durante o ano. **Então, nota-se que nos meses de julho e agosto possuem as maiores temperaturas mínimas e máximas médias durante o ano**, situação que já era esperada por ser o período do verão.

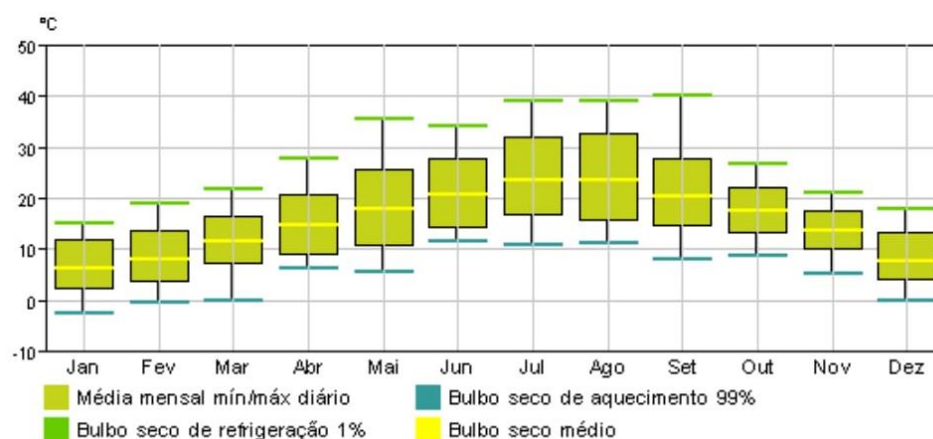


Figura 61 – Perfil de temperaturas mensais da localização do supermercado.

Portanto, foi possível relacionar que os maiores consumos energéticos ocorrem nos mesmos meses em que as temperaturas médias da região do supermercado também são máximas. Assim, nesta situação, julgou-se importante analisar as cargas mensais de aquecimento e arrefecimento do supermercado, para que se possa perceber se a alta do consumo energético está relacionada com os consumos dos sistemas de climatização do supermercado, devido o aumento na procura por arrefecimento.

O gráfico da carga mensal de aquecimento do supermercado está ilustrado na Figura 62, o qual não representa a carga de pico utilizada para o dimensionamento de equipamentos de aquecimento, e não leva em consideração as cargas de aquecimento provenientes do ar que passa pelos sistemas de ventilação, que podem ter grande influência em edifícios com alta densidade de ocupação [127]. Os valores negativos presentes no gráfico da carga mensal de aquecimento representam a perda de calor do supermercado, e que precisa ser suprido por algum sistema de aquecimento, enquanto os valores positivos indicam os ganhos de calor do supermercado, o que resulta na diminuição da procura de aquecimento.



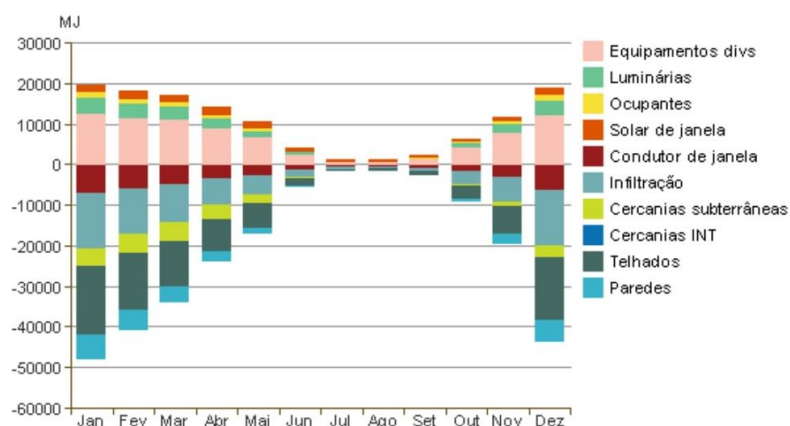


Figura 62 – Gráfico da carga mensal de aquecimento do supermercado.

Assim, através da Figura 62 percebe-se que o mês de janeiro é o mês que há a maior perda de calor do supermercado para o ambiente externo, o que significa que é o mês com a maior procura por aquecimento, e esta perda de calor ocorre principalmente pela condução térmica através do telhado. E no mês de janeiro, também ocorre o maior ganho de calor durante o ano, através da liberação de calor dos equipamentos elétricos nos ambientes do supermercado, como computadores, fornos, micro-ondas e impressoras, entre os outros equipamentos elétricos, e este ganho de calor representa a diminuição da procura por aquecimento.

A grande procura por aquecimentos no mês de janeiro, demonstrada na Figura 62, provavelmente está relacionada com as baixas temperatura da estação de inverno, assim havendo uma possível perda de calor para o ambiente externo, principalmente durante a noite, isso pode ser analisado por meio da comparação entre o ganho de calor solar através das janelas, situação que ocorre somente durante o dia (pois, a noite não há incidência de raios solares para ocorrer ganhos de calor), e a perda de calor através das janelas, situação que ocorre com maior intensidade durante a noite, devido as diferenças de temperatura entre o ambiente externo e internos do supermercado serem maiores.

Portanto, para diminuir os consumos elétricos relacionados ao sistema de aquecimento é necessário identificar os componentes que possuem os valores de cargas negativas, que neste caso são: a perda de calor por condução pelas janelas, infiltrações do edifício, elementos em contato com o solo (cercanias subterrâneas), telhado, e as paredes, e desenvolver medidas que modifiquem o valor do coeficiente de transmissão térmica, com a finalidade de diminuir as perdas térmicas do supermercado, consequentemente diminuir a procura por aquecimento que resultaria numa possível diminuição nos consumos energéticos.

Outro ponto a ser levantando no gráfico da carga mensal de aquecimento (Figura 62), é que principalmente nos meses de julho e agosto, tanto a perda de calor como o ganho possuem valores menores em relação aos outros meses do ano, isto provavelmente ocorre porque no período de verão (julho e agosto), a média das



temperaturas na região de Tomar estão próximas das temperatura de aquecimento e arrefecimento estabelecidas para os sistemas de climatização, as quais são definidas sendo 20°C para aquecimento e 25°C para o arrefecimento, e a temperatura média da região de Tomar está representada na Figura 61, para os meses de julho e agosto, são aproximadamente 23°C. Portanto, durante os meses de julho e agosto a diferença de temperatura entre o supermercado e o ambiente externo é menor que na estação de inverno, assim possivelmente não havendo perdas de calor significantes, o que resulta na diminuição da procura por aquecimento.

Então, os maiores consumos elétricos relacionados aos sistemas de aquecimento do supermercado ocorrem nos meses de inverno, enquanto os maiores consumos elétricos do supermercado ocorrem no verão. Assim, analisando apenas a necessidade de aquecimento, é possível concluir que o aumento do consumo elétrico do supermercado nos meses de julho e agosto, não está relacionado diretamente com o sistema de aquecimento.

Depois de determinar que a carga mensal de aquecimento não possui relação com o aumento do consumo elétrico do supermercado, analisou-se a carga mensal de arrefecimento, que está representa na Figura 63, onde os **valores positivos representam a procura de arrefecimento que devem ser supridas por um sistema de climatização ou por outros meios, e os valores negativos indicam uma compensação em relação a procura de arrefecimento**. E como no gráfico de carga mensal de aquecimento, o gráfico da carga de arrefecimento também não representa o pico de carga, utilizado para o dimensionamento de equipamentos de climatização, e **não considera as cargas de arrefecimento provenientes dos sistemas de ventilação**.



Figura 63 - Gráfico da carga mensal de arrefecimento do supermercado.

Através da Figura 63, é possível perceber que as maiores cargas de arrefecimento ocorrem nos meses de julho e agosto, e que os equipamentos elétricos (equipamentos diversos), são os maiores responsáveis pela procura por arrefecimento, por causa do calor liberado por eles nos ambientes do supermercado, seguido pelas luminárias, pelos ocupantes, e devido o ganho solar dos elementos envidraçados (Solar de janela).

Outro ponto destacado, foi que apenas nos meses de julho e agosto não há ganho de calor pelas paredes. E as perdas de calor ocorrem principalmente nos meses de dezembro e janeiro, através das paredes, do telhado e pelo pavimento em contato com o solo (cercanias subterrâneas).

Outro ponto levantado referente a carga mensal de arrefecimento, é que na maioria dos meses ela é superior a 150.000 MJ, sendo que os maiores valores ocorrem nos meses de julho e agosto, e quase não há perda de calor do supermercado para o ambiente, situação que contribuiria para diminuir a procura de arrefecimento, o que resulta na diminuição dos consumos energéticos dos sistemas de climatização.

A alta na procura por arrefecimento e do consumo elétrico do supermercado acontecem nos mesmos meses, julho e agosto, assim podendo haver uma relação entre eles. Então, provavelmente medidas que diminuam a carga de arrefecimento mensal, também irá diminuir os consumos elétricos do supermercado.

A próxima secção aborda possíveis medidas de otimização energética, com base nos resultados apresentados nesta secção, relacionando-os com os setores consumidores energéticos do supermercado.

### 3.10.1 Possíveis medidas de otimização energética para os setores consumidores

O Revit® divide os setores consumidores energéticos do supermercado entre sistemas de climatização, sistema de iluminação, e equipamentos elétricos. Assim, com base nos dados apresentados na Tabela 38, os setores consumidores energéticos em ordem decrescente em relação ao consumo são os equipamentos elétricos, sistema de climatização, e sistema de iluminação, com base na simulação dinâmica em condições reais, pois com base na certificação energética, a ordem decrescente do consumo são equipamentos elétricos, sistema de iluminação, e sistema de climatização.

Em relação a simulação dinâmica em condições reais, **os equipamentos elétricos** são os maiores responsáveis pela procura de arrefecimento do supermercado, e ao mesmo tempo, contribuem para a diminuição da procura de aquecimento. Entretanto, a carga mensal de arrefecimento relacionada aos equipamentos elétricos é maior que a compensação da carga mensal de aquecimento. Portanto, se houvesse a possibilidade de diminuir a potência dos equipamentos elétricos, resultaria numa poupança energética do sistema de climatização e do próprio consumo proveniente dos equipamentos elétricos, mas como não há esta possibilidade, as medidas de otimização energética ficam restritas nos sistemas de iluminação e climatização.

**As luminárias** são responsáveis pela segunda maior necessidade de arrefecimento do supermercado. Apesar de todas as luminárias possuírem lâmpadas LED, e consequentemente, não havendo liberação de calor das luminárias nos ambientes de maneira significativa, o Green Building Studio® considera que as luminárias liberam

uma quantidade de calor considerável, e não permite o utilizador informar ou alterar está característica. Assim, uma possível medida de otimização energética é diminuir o tempo que as luminárias ficam ligadas, através da instalação de sensores de presença, e da utilização da luz natural de maneira eficiente para a iluminação dos ambientes, com isso poupando energia da iluminação artificial, através da instalação de claraboias e/ou tubos solares, e de *dimmers*, pois a diminuição do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação resultaria na diminuição da carga mensal de arrefecimento, e no próprio consumo elétrico das luminárias, assim havendo a possibilidade de poupança energética significativa.

Os próximos componentes responsáveis pela necessidade de arrefecimento no supermercado, são os **ocupantes e a janelas externas** (ou fachadas envidraçadas externas), como mostra a Figura 63. Os ocupantes do edifício causam uma necessidade de arrefecimento, através da liberação de calor sensível e latente dos seus corpos para os ambientes, e como não há nenhum interesse por parte do supermercado em limitar a quantidade de clientes, não foi possível determinar nenhuma medida que diminuiria as necessidades de arrefecimento provenientes dos ocupantes sem restringir o número de ocupantes, com a finalidade de realizar uma poupança energética em relação ao sistema de climatização.

Os **elementos envidraçados externos** (janelas externas, claraboias, fachada envidraçada), permite a entrada de luz solar direta, com isso havendo ganhos de calor solar nos ambientes do supermercado, o que resulta numa necessidade de arrefecimento. Portanto, uma possível medida de otimização energética seria controlar a entrada de luz solar direta, por meio da instalação de proteções solares, como palas horizontais, *brise-soleils*, películas de proteção solar, entre outras medidas, que resultaria na diminuição da carga mensal de arrefecimento, consequentemente, surgindo uma possibilidade de poupança energética em relação aos sistemas de climatização, mas afetando a incidência de luz natural nos ambientes do supermercado, o que poderia prejudicar a qualidade da iluminação, assim necessitando a utilização da iluminação artificial, que causaria uma aumento no consumo elétrico.

Em relação aos **elementos construtivos**, o aumento no coeficiente de transmissão térmica do **pavimento em contato com o solo e do telhado**, possivelmente causaria uma diminuição no consumo de energia elétrica devido a compensação na procura de arrefecimento, pelo aumento da perda de calor do supermercado para o ambiente externo. Em relação as **paredes externas**, a influência delas nas cargas mensais de aquecimento e arrefecimento é pequena, assim possivelmente uma mudança nos seus coeficientes de transmissão térmica não iriam causar grandes impactos nos consumos elétricos dos sistemas de climatização.

As medidas propostas neste trabalho para a otimização energética do supermercado foram abordadas e simuladas na **secção 3.12 MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA**.

### 3.11 ANÁLISE SOLAR

A análise solar foi dividida em duas etapas, sendo que a primeira possui a finalidade de estimar a incidência solar nas superfícies exteriores do supermercado, como as paredes externas, a fachada envidraçada, e a cobertura, para auxiliar no entendimento do comportamento do sol, e na criação de medidas de otimização energética. E a segunda etapa, possui como objetivo a realização de um estudo sobre a incidência de luz solar no interior dos ambientes do supermercado, assim auxiliando na criação das propostas de otimização energética, como a instalação de *brise-soleils*, ou substituição do tipo de vidro para um modelo mais escuro.

Para a realização das simulações foram ignorados qualquer tipo de sombra sobre o supermercado provenientes de edifícios vizinhos, árvores, e outros elementos que podem produzir sombra.

#### 3.11.1 Análise da radiação solar acumulada sobre o supermercado

Segundo a Autodesk Sustainability Workshop[128], para todo edifício que se deseja elevar a eficiência energética é necessário levar em consideração a radiação solar, pois pode ser utilizada para o aquecimento passivo dos ambientes do edifício, ou ser transformada em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, ou mesmo para perceber se há necessidade de proteções solares, como em fachadas envidraçadas.

A intensidade da radiação depende do estado do céu (nublado, poucas nuvens, ou limpo), e do ângulo que os raios solares atingem as superfícies denominado “ângulo de incidência”, sendo que quanto mais perpendicular os raios solares são incididos sobre uma superfície, mais energia em forma de calor e luz a superfície recebe [128].

A análise solar possui três opções de estudo, sendo a radiação solar máxima durante um período (pico), a radiação solar média, e a radiação solar acumulada. Para a realização da análise solar, foi escolhido a opção da radiação solar acumulada, que representa a radiação acumulado durante um período de tempo, assim o resultado obtido representa o total de energia solar que poderia ser aproveitada no aquecimento passivo ou num sistema fotovoltaico, sendo que as duas situações representam uma poupança energética para o supermercado. As opções da análise solar estão explicadas no ANEXO 11.

Portanto, foi realizada a análise da radiação solar acumulada durante os dias do solstício de verão, do solstício de inverno, do equinócio de primavera, e do equinócio de outono, e os resultados estão apresentados nas próximas seções, sendo que as radiações solares acumuladas totais das áreas selecionadas estão no ANEXO 12.

### 3.11.1.1 Análise solar no solstício de verão

O resultado da análise da radiação solar acumulada durante o dia do solstício de verão (21/06, período da luz solar das 05h07min às 20h02min), sobre a parede a sudeste do supermercado, na fachada envidraçada, e na cobertura está ilustrado na Figura 64, na qual a radiação solar acumulada está expressa em  $\text{Wh/m}^2$ .

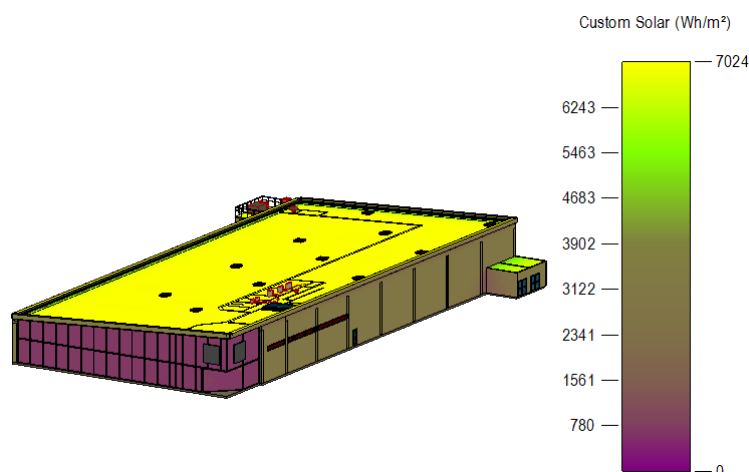


Figura 64 – Análise da radiação solar acumulada no solstício de verão na frente do supermercado.

Com base no resultado da Figura 64, o valor máximo de energia foi de  $7.024 \text{ Wh/m}^2$ , na região da cobertura, na parede a sudeste, a energia da radiação solar é de aproximadamente  $3.122 \text{ Wh/m}^2$ , e a fachada envidraçada a sudoeste supermercado foi a superfície que menos recebeu a incidência da radiação solar, de modo que a energia acumulada é de aproximadamente  $500 \text{ Wh/m}^2$ .

A radiação solar acumulada nas superfícies localizadas atrás do supermercado está representada na Figura 65.

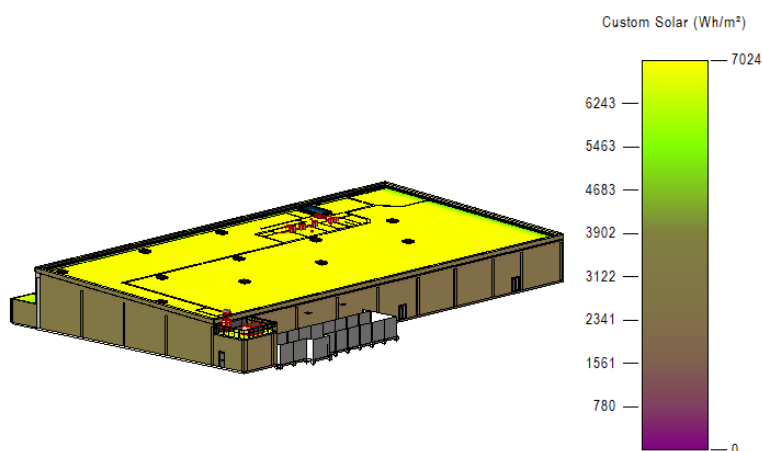


Figura 65 - Análise da radiação solar acumulada no solstício de verão atrás do supermercado.

As paredes das direções nordeste e noroeste possuem aproximadamente os mesmos valores de energia da radiação solar de aproximadamente 2.341 Wh/m<sup>2</sup>.

### 3.11.1.2 Análise solar no solstício de inverno

A análise da radiação solar acumulada no solstício de inverno (21/12, período de luz solar das 7h52min às 17h10min), mostra uma quantidade de energia acumulada menor que a metade da energia acumulada durante no solstício de verão, e está representada na Figura 66.

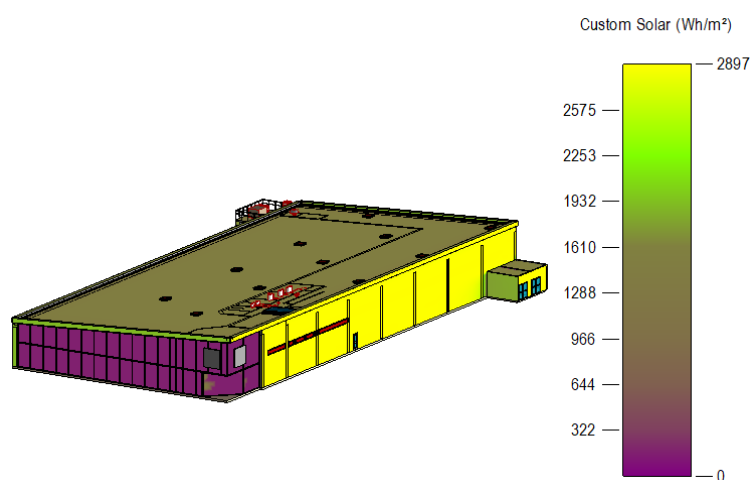


Figura 66 - Análise da radiação solar acumulada no solstício de inverno na frente do supermercado.

Nota-se que o elemento construtivo que recebe a maior quantidade radiação solar, é a parede na direção sudeste, com um valor de energia de aproximadamente 2.894 Wh/m<sup>2</sup>. A cobertura possui um valor de energia de aproximadamente 966 Wh/m<sup>2</sup>, e a fachada envidraçada é o elemento construtivo que menos recebe radiação solar, com um valor acumulado de aproximadamente 200 Wh/m<sup>2</sup>.

Os resultados obtidos das superfícies que ficam atrás do supermercado estão representados na Figura 67.

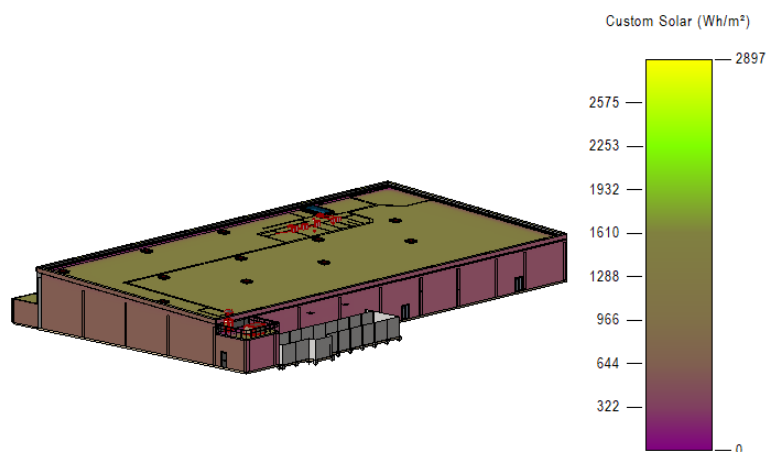


Figura 67 - Análise da radiação solar acumulada no solstício de inverno atrás do supermercado.

A radiação solar acumulada na parede da direção noroeste é de aproximadamente 280 Wh/m<sup>2</sup>, enquanto na parede da direção nordeste recebe mais radiação solar, com isso o seu valor da energia solar incidida na superfície é de aproximadamente 644 Wh/m<sup>2</sup>.

#### 3.11.1.3 Análise solar no equinócio de primavera

No equinócio de primavera (20/03, período da luz solar das 6h38min às 18h43min), a radiação solar acumulada nas superfícies presentes na frente do supermercado está representada na Figura 68.

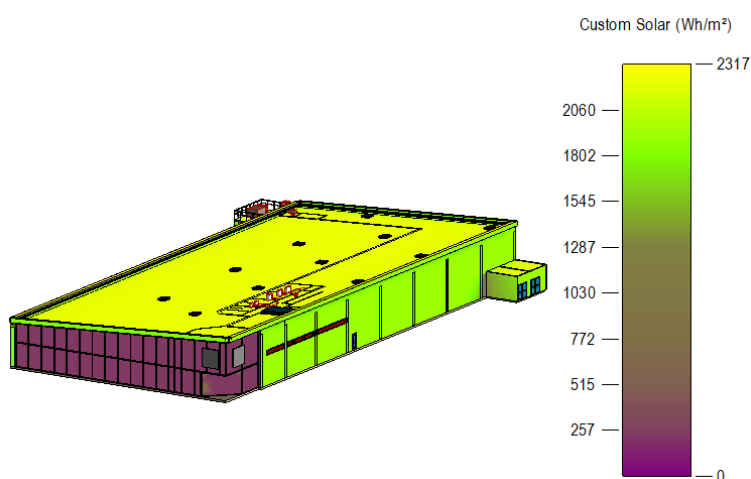


Figura 68 - Análise da radiação solar acumulada no equinócio de primavera na frente do supermercado.

O valor máximo da energia solar acumulada foi de 2.317 Wh/m<sup>2</sup>, na superfície do telhado, na parede externa voltada para direção sudeste, a radiação solar acumulada é

de aproximadamente  $1.802 \text{ Wh/m}^2$ , e na fachada envidraçada, a energia solar acumulada é de aproximadamente  $200 \text{ Wh/m}^2$ .

Nas superfícies externas localizada atrás do supermercado, os resultados da radiação solar acumulada estão representados na Figura 69.

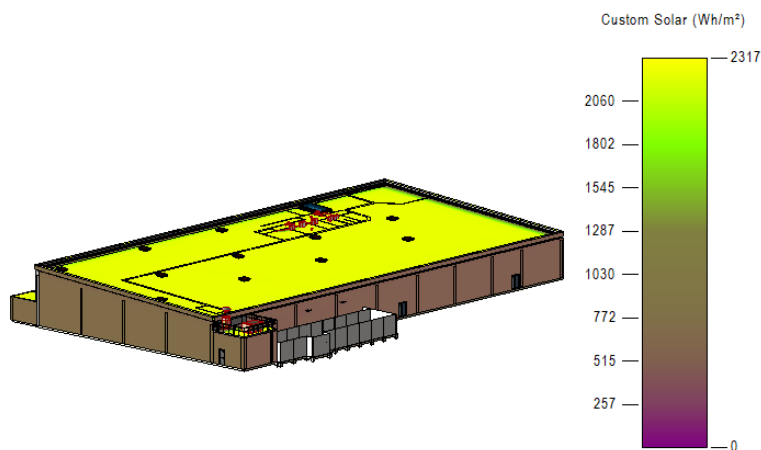


Figura 69 - Análise da radiação solar acumulada no equinócio de primavera atrás do supermercado.

Na parede voltada à direção nordeste, a energia solar acumulada é de aproximadamente  $772 \text{ Wh/m}^2$ , enquanto na parede voltada à direção noroeste, a energia acumulada é de aproximadamente  $515 \text{ Wh/m}^2$ . Assim, a fachada envidraçada que está voltada para direção sudoeste possui o menor valor da radiação solar acumulada.

#### 3.11.1.4 Análise solar no equinócio de outono

A análise da radiação solar acumulada no equinócio de outono (22/06, período da luz solar das 6h21min às 18h30min), referente as superfícies voltadas para frente do supermercado estão representadas na Figura 70.



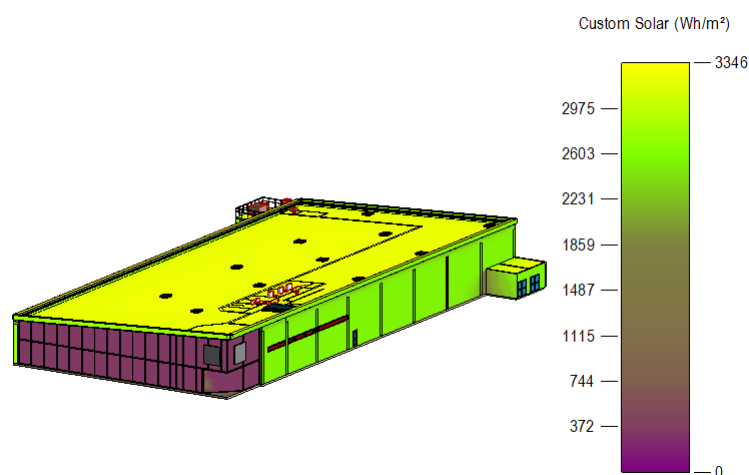


Figura 70 - Análise da radiação solar acumulada equinócio de outono na frente do supermercado.

O valor máximo da energia acumulada é igual a  $3.346 \text{ Wh/m}^2$ , na superfície do telhado, na parede voltada para direção sudeste, o valor da energia solar acumulada é de aproximadamente  $2.603 \text{ Wh/m}^2$ , e na fachada envidraçada, o valor da energia solar acumulada é de aproximadamente  $200 \text{ Wh/m}^2$ .

O resultado da análise solar acumulada nas superfícies presentes nos fundos do supermercado está representado na Figura 71.

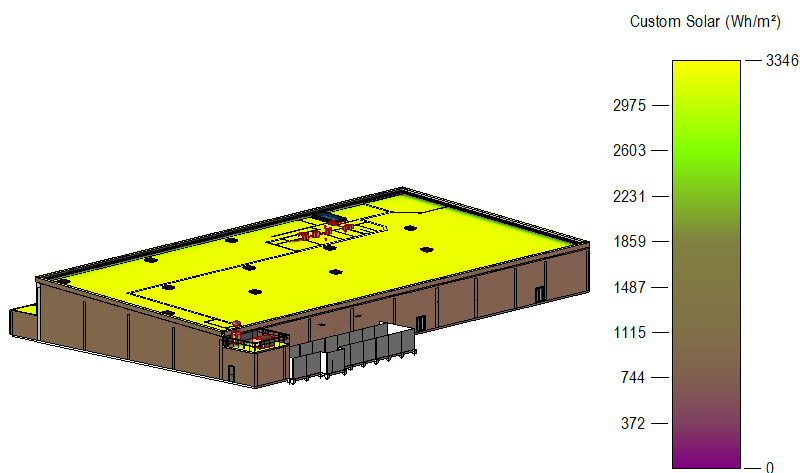


Figura 71 - Análise da radiação solar acumulada equinócio de outono atrás do supermercado.

A energia solar acumulada na parede voltada para a direção nordeste é de aproximadamente  $1.115 \text{ Wh/m}^2$ , na parede voltada para direção noroeste, a energia solar acumulada é de aproximadamente  $744 \text{ Wh/m}^2$ . Assim, a fachada envidraçada é a que menos recebe radiação solar.

### 3.11.2 Análise da quantidade de luz natural no interior do supermercado

A ferramenta de análise da quantidade de luz natural presente no plug-in Insight do Revit® possui vários modelos de resultados, sendo: *illuminance analysis*, *daylight autonomy (sDA preview)*, *LEED 2009 IEQc8 opt 1*, *LEED v4Qc7 opt 2*, e *solar access*. Os modelos de resultados estão explicados no ANEXO 13.

Para a realização dos estudos da quantidade de luz natural, foi escolhido o modelo de resultado **LEED v4Qc7 opt 2**, por ter sido desenvolvido especialmente para auxiliar a realização da análise sem a necessidade de conhecer os modelos de céu, e auxilia na compreensão da disponibilidade da incidência de luz natural nos ambientes dos edifícios, através das métricas *Spatial Daylight Autonomy (sDA)* e *Annual Sunlight Exposure (ASE)*. A métrica sDA, por ser definida sendo a percentagem de área do piso que recebe pelo menos 300 lux durante metade (50%) das horas anuais que o ambiente foi ocupado, e a métrica ASE, é a percentagem da área do piso que recebe pelo menos 1000 lux durante um período mínimo de 250 horas anuais que o ambiente foi ocupado, assim utilizada para limitar o excesso de luz natural incidida no ambiente. Mais explicações referentes as métricas estão no ANEXO 13.

O resumo do resultado obtido da análise da luz natural do modelo **LEED v4Qc7 opt 2**, está ilustrada na Figura 72.

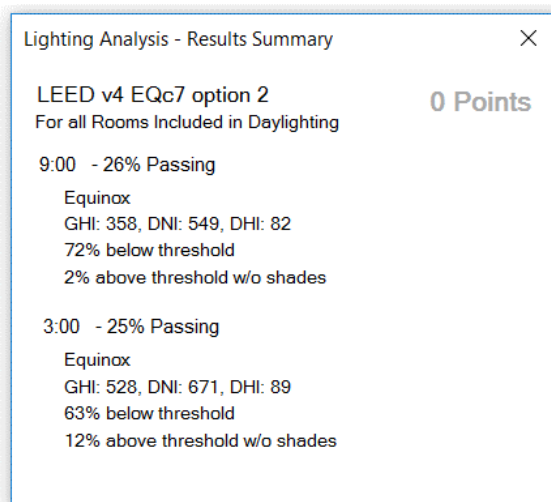
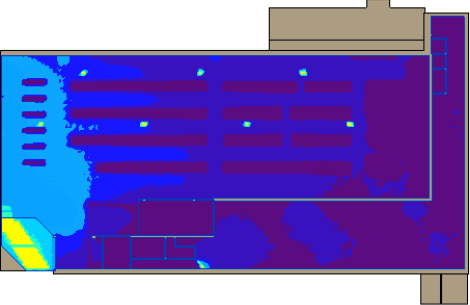
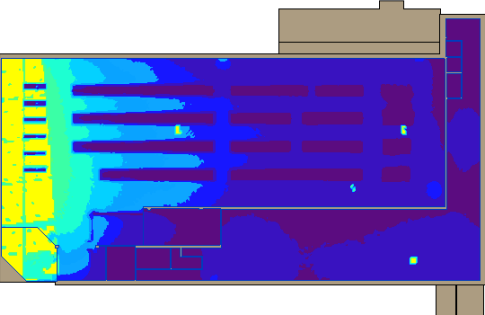


Figura 72 - Resumo da análise da luz natural LEED v4Qc7 opt 2 para os ambientes do supermercado.

O resumo da análise da luz natural do supermercado às 9h, mostra que 26% da área analisada cumpriu com os requisitos da **LEED v4Qc7 opt 2**, sendo que 72% da área está abaixo do limite estabelecido, e 2% da área está acima do limite sem sombra no ambiente. Às 15h, 25% da área analisada do supermercado atingiu as condições, 63% da área está abaixo do limite estabelecido, e 12% da área está acima do limite sem sombra.

Os valores de iluminância calculados às 9h e 15h no nível 0 no dia 21/03 (Revit® considera como equinócio de outono), estão na Tabela 39.

Tabela 39 – Iluminância do nível 0 no equinócio de outono obtido pela LEED v4Qc7 opt 2.

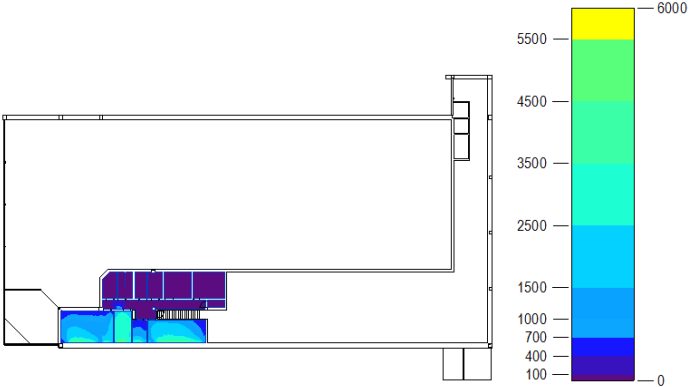
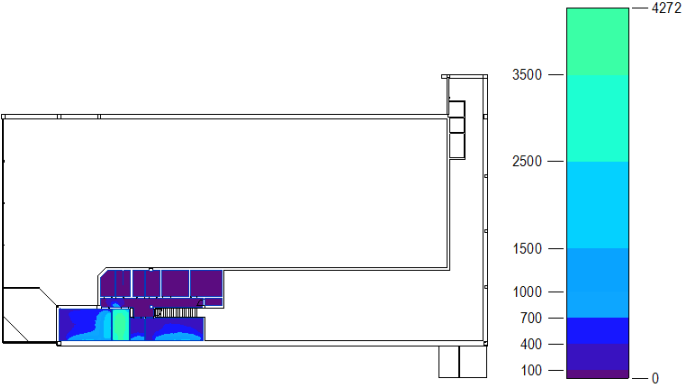
Hora	Resultado
9h	<div><div>Lighting Analysis Results-Nível 1 (LUX)</div><div>Results of Lighting Analysis</div><div>lx: 9/21 clear sky 9</div></div>
15h	<div><div>Lighting Analysis Results-Nível 1 (LUX)</div><div>Results of Lighting Analysis</div><div>lx: 9/21 clear sky 3</div></div>

Nota-se, através dos resultados presentes na Tabela 39, que os ambientes do nível 0 possuem mais iluminação natural às 15h, comparado com os resultados obtidos às 9h, sendo possível perceber no armazém I e o cais noturno, que às 9h quase não possuem iluminação natural, com valores de iluminância inferiores a 100 lux na maioria das suas áreas, enquanto às 15h, a área com iluminância entre 100 a 400 lux é maior, mas ainda possuindo áreas que quase não há iluminação. Na zona de vendas, também acontece a mesma situação, às 9h, no fundo da zona de vendas (lado direito do leitor), possui iluminância inferior a 100 lux, e às 15h, os valores de iluminância fica entre 100 a 400 lux, e na região próxima da fachada envidraçada, às 9h, os valores máximos de

iluminância estão entre 1.000 a 1.500 lux, e às 15h, os valores são iguais ou superior que 6.000 lux.

Os valores de iluminância calculados às 9h e às 15h no nível 1 no dia 21/03 (Revit® considera como equinócio de outono), estão na Tabela 40.

Tabela 40 - Iluminância do nível 1 no equinócio de outono obtido pela LEED v4Qc7 opt 2.

Hora	Resultado
9h	<div>Lighting Analysis Results-Nível 2 (LUX)</div>  <div>Results of Lighting Analysis</div> <div>Ix: 9/21 clear sky 9</div>
15h	<div>Lighting Analysis Results-Nível 2 (LUX)</div>  <div>Results of Lighting Analysis</div> <div>Ix: 9/21 clear sky 3</div>

No nível 1, devido a existência de algumas janelas internas no terraço, na sala do pessoal, e na área de circulação, e janelas externas existentes na sala do pessoal, no terraço, na sala de aprendizagem “Leon”, e no escritório, somente estes ambientes citados possuem iluminação natural. Ao contrário do nível 0, os ambientes do nível 1 possuem mais quantidade de luz natural durante o período da manhã, às 9h, devido as janelas externas estarem voltadas para o sudeste, e no período da tarde, às 15h, os

valores de iluminância diminuem, devido o sol estar predominantemente posicionado ao oeste do supermercado.

A Figura 73 apresenta as percentagens das áreas dos dois pavimentos presentes no supermercado, que estão acima, dentro, e abaixo do limite referente a iluminação natural estabelecido pela **LEED v4Qc7 opt 2**, às 9h e às 15h.

<_Lighting Analysis Floor Schedule>														
LEED v4 EQc7 opt2 Whole Building Results: 39.6101608276367,-8.40154361724854														
9am: 26% within & 3pm: 25% within thresholds														
Solar Values (W/m2): 9/21 9 GHI: 358, DNI: 549, DHI: 82 & 9/21 3 GHI: 528, DNI: 671, DHI: 89														
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Nome	Floor Area Included in Daylighting	Total Floor Area	9am threshold results			3pm threshold results								
			within threshold	above threshold	below threshold	within threshold	above threshold	below threshold	within threshold	above threshold	below threshold	within threshold	above threshold	below threshold
			%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area
Nível 1	2194 m²	2194 m²	25	540 m²	1	31 m²	74	1623 m²	24	531 m²	13	281 m²	63	1382 m²
Nível 2	169 m²	169 m²	41	70 m²	6	10 m²	52	89 m²	34	58 m²	5	8 m²	61	104 m²

Figura 73 – Resultados da análise de luz natural referente aos níveis 0 e 1.

Portanto, através da Figura 73, em relação aos resultados das 9h, o nível 0 possui 25% da sua área dentro (*within*) do limite estabelecido pela **LEED v4Qc7 opt 2**, 1% da área acima (*above*) do limite, e 74% abaixo (*below*) do limite, enquanto às 15h, o nível 0 possui 24% da área dentro do limite estabelecido, 13% da área acima do limite, e 63% da área abaixo do limite. A percentagem referente a área que está abaixo do limite diminuiu, devido o aumento a incidência dos raios solares através da fachada envidraçada no período da tarde.

O nível 1, às 9h, possui 41% da sua área dentro do limite estabelecido, 6% da área acima do limite, e 52% da área abaixo do limite, e às 15h, 34% da área está dentro do limite, 5% da área acima do limite, e 61% da área abaixo do limite. O aumento da percentagem da área abaixo do limite é justificado pela diminuição dos valores de iluminância mostrados na Tabela 40.

A Figura 74, representa os resultados obtidos pela análise de luz natural referente a cada ambiente existente no supermercado, especificando a percentagem da área de cada ambiente que está acima, dentro, e abaixo do limite estabelecido pela **LEED v4Qc7 opt 2**. Assim, estes dados auxiliam na decisão de definir quais ambientes realmente precisam ser modificados para aumentar a quantidade de luz natural incididas para o interior do edifício, como estabelecer quais ambientes possuem excesso de luz natural.

<_Lighting Analysis Room Schedule>																	
LEED v4 EQc7 opt2 Whole Building Results: 39.6101608276367,-8.40154361724854																	
9am: 26% within & 3pm: 25% within thresholds																	
Solar Values (W/m2): 9/21 9 GHI: 358, DNI: 549, DHI: 82 & 9/21 3 GHI: 528, DNI: 671, DHI: 89																	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Level	Name	Number	Area	Include In Daylighting	Automated Shades	within threshold		9 threshold results above threshold		below threshold		within threshold		3 threshold results above threshold		below threshold	
						%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%	Area
Nível 1	Zona de vendas	24	1498.43 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	34	511 m²	0	5 m²	66	982 m²	35	524 m²	16	234 m²	49	740 m²
Nível 1	Antecâmara	25	52.17 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48	25 m²	49	26 m²	3	1 m²	9	5 m²	88	46 m²	3	1 m²
Nível 1	Armazem II	26	19.79 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	20 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	20 m²
Nível 1	Sala do chefe	27	15.00 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	15 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	15 m²
Nível 1	Sala CCTV	28	8.92 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	9 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	9 m²
Nível 1	Cais noturno	29	526.16 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	4 m²	0	0 m²	99	522 m²	0	2 m²	0	1 m²	99	523 m²
Nível 1	WC femi. piso 0	30	7.00 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	7 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	7 m²
Nível 1	Antecâmara IS	31	4.21 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	4 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	4 m²
Nível 1	WC masc. piso	32	4.73 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	5 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	5 m²
Nível 2	Sala do pessoal	33	34.79 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	93	33 m²	6	2 m²	0	0 m²	84	29 m²	0	0 m²	16	5 m²
Nível 2	Terraço	34	11.15 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	65	7 m²	35	4 m²	0	0 m²	27	3 m²	73	8 m²	0	0 m²
Nível 2	Sala Leon	35	6.50 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	92	6 m²	8	0 m²	0	0 m²	47	3 m²	0	0 m²	53	3 m²
Nível 2	Escritório	36	27.22 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	86	23 m²	14	4 m²	0	0 m²	77	21 m²	0	0 m²	23	6 m²
Nível 2	Circulação	37	24.23 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	1 m²	0	0 m²	95	23 m²	6	1 m²	0	0 m²	94	23 m²
Nível 2	Vesti. femi.	38	7.43 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	7 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	7 m²
Nível 2	WC femi.	39	7.90 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	8 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	8 m²
Nível 2	WC masc.	40	6.79 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	7 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	7 m²
Nível 2	Vesti. masc.	41	7.89 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	8 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	8 m²
Nível 2	Sala IT	42	15.08 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	15 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	15 m²
Nível 2	Sala de quadros	43	17.54 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	18 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	18 m²
Nível 2	Despensa	44	2.98 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	3 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	3 m²
Nível 1	Zona de preparac	45	57.79 m²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0 m²	0	0 m²	100	58 m²	0	0 m²	0	0 m²	100	58 m²

Figura 74 - Resultados da análise de luz natural referente a cada ambiente do supermercado.

Com base nos resultados apresentados na Figura 74, a sala do pessoal, terraço, sala de aprendizagem “Leon”, e o escritório, provavelmente possuem quantidade de luz natural acima do limite estabelecido pela **LEED v4Qc7 opt 2**, assim estes ambientes citados não precisam de medidas de otimização energética, como a instalação de tubo solar. Em relação a antecâmara, se considerado a percentagem de área acima e dentro do limite estabelecido, ou seja, 97% da área da antecâmara possui quantidade de luz natural satisfatória. Referente a zona de vendas, se considerado a área acima e dentro do limite estabelecido, às 9h, a área corresponde a 34%, e às 15h, corresponde a 50%, indicando que numa parte da zona de vendas provavelmente não precisa de iluminação artificial em alguns períodos do dia, pois somente a quantidade de luz natural incidida no ambiente é suficiente para suprir a necessidade iluminação.

Para auxiliar na determinação de quais ambientes possuem iluminação natural suficiente ou em excesso, foi realizado uma análise de luz natural com o modelo de resultados **Daylight Autonomy (sDA preview)**, e os resultados obtidos estão presentes na Figura 75.

<_Lighting Analysis Room Schedule>										
Daylight Autonomy (sDA Preview) Results Summary: 39.6101608276367,-8.40154361724854										
3% of Building Area meets sDA & ASE for 8:00am - 6:00pm, January 1 - December 31										
LEED points for % Building Area >sDA300/50 in Rooms with ASE1000/250 < 10% of Room area - 55% (2 pts) or 75% (3 pts)										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Level	Name	Number	Area	Include In Daylighting	sDA 300/50 %	sDA 300/50 Points	ASE 1000/250 %	ASE 1000/250 Pass	sDA/ASE %	sDA/ASE Points
Nível 1	Zona de vendas	24	1498.43 m²	☑	40	none	11	No	0	none
Nível 1	Antecâmara	25	52.17 m²	☑	99	3 pt	99	No	0	none
Nível 1	Armazem II	26	19.79 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 1	Sala do chefe	27	15.00 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 1	Sala CCTV	28	8.92 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 1	Cais noturno	29	526.16 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 1	WC femi. piso 0	30	7.00 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 1	Antecâmara JS	31	4.21 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 1	WC masc. piso	32	4.73 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 2	Sala do pessoal	33	34.79 m²	☑	94	3 pt	0	Yes	94	3 pt
Nível 2	Terraço	34	11.15 m²	☑	100	3 pt	39	No	0	none
Nível 2	Sala Leon	35	6.50 m²	☑	50	none	0	Yes	50	none
Nível 2	Escritório	36	27.22 m²	☑	86	3 pt	0	Yes	86	3 pt
Nível 2	Circulação	37	24.23 m²	☑	3	none	0	Yes	3	none
Nível 2	Vesti. femi.	38	7.43 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 2	WC femi.	39	7.90 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 2	WC masc.	40	6.79 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 2	Vesti. masc.	41	7.89 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 2	Sala IT	42	15.08 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 2	Sala de quadro	43	17.54 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 2	Despensa	44	2.98 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none
Nível 1	Zona de prepac	45	57.79 m²	☑	0	none	0	Yes	0	none

Figura 75 – Resultados do *Daylight Autonomy* (sDA preview) em cada ambiente do supermercado.

Os resultados obtidos pelo ***Daylight Autonomy* (sDA preview)**, mostram que a sala de pessoal, terraço, sala de aprendizagem “Leon”, escritório, e a antecâmara de entrada, possuem valores do sDA maiores que 55%, que significa que estes ambientes possuem quantidade de luz natural “normalmente aceita” (sDA entre 55% a 75%), e quantidade de luz natural “preferida” pelos ocupantes (sDA maiores que 75%). Em relação, a métrica ASE, somente a zona de vendas, antecâmara de entrada, e o terraço, possuem excesso de luz natural, que pode causar um desconforto visual para os ocupantes, devido ao possível excesso de brilho e/ou pelo aquecimento indesejado do ambiente.

Portanto, com base nos resultados apresentados na Figura 74 e Figura 75, **a sala do pessoal, a sala de aprendizagem “Leon” e o escritório, não precisam sofrer melhorias com a finalidade de aumentar a incidência de luz natural**, e a antecâmara e o terraço precisam sofrer modificações para diminuir o excesso de luz no ambiente, buscando-se valores referentes a métrica ASE inferiores a 10%.

### 3.11.3 Pontos importantes dos resultados da análise solar

Utilizando os resultados obtidos através da análise de radiação solar acumulada e da análise da quantidade de luz natural foi possível definir alguns pontos relevantes, os quais estão listados a seguir:

- A cobertura do supermercado é a superfície externa que mais recebe radiação solar;

- Entre as paredes externas, a parede voltada para direção sudeste é a que mais recebe radiação solar;
- A fachada envidraçada, em todas as estações do ano, é a superfície que menos recebe radiação solar;
- A fachada envidraçada recebe a maior quantidade de radiação solar durante o verão, e a menor quantidade, durante o inverno;
- A sala do pessoal, a sala de aprendizagem “Leon”, e o escritório, possuem quantidade de luz natural satisfatória, com base na métrica sDA;
- A zona de vendas, o terraço, e a antecâmara de entrada possuem excesso de luz natural.

Os pontos listados anteriormente são possibilidades de medidas de otimização energética para o supermercado, sendo que primeira possibilidade propõem o aproveitamento da boa disponibilidade da radiação solar incidida na cobertura do supermercado, para produção de energia fotovoltaica, que pode contribuir para a diminuição dos consumos energéticos do supermercado.

Em relação a parede externa voltada à direção sudeste, é possível que ela cause um aquecimento indesejado, devido o acúmulo de calor por sua massa térmica, portanto, é interessante estudar o comportamento da variação dos valores do coeficiente de transmissão térmica e da massa térmica da parede externa sobre as cargas de aquecimento e arrefecimento, pois a variação das propriedades da parede externa pode mostrar uma diminuição do consumo elétrico referente ao sistema de climatização.

Na zona de vendas, a região próxima a fachada envidraçada possui uma quantidade de luz natural aceitável, entretanto, com base nos resultados da Figura 75, a distribuição da luz natural precisa ser melhorada, mas ao mesmo tempo, a análise realizada indica um excesso de luz natural. Portanto, é necessário um controle da entrada de luz solar pela fachada envidraçada, que pode ser realizado através de *brise-soleils*, as quais devem controlar a entrada de luz natural para evitar o aquecimento indesejado do ambiente e o excesso de brilho, principalmente durante o verão, mas permitir a entrada de luz difusa no ambiente, sendo principalmente durante o inverno, para diminuir a carga de aquecimento. Nas áreas afastadas da fachada envidraçada, é necessário aumentar a entrada de luz natural, que pode ser feito através de instalação de tubo solares, claraboias ou janelas.

Somente a sala do pessoal, a sala de aprendizagem “Leon”, e o escritório possuem quantidade de luz natural aceitável, assim nos demais ambientes podem ser aplicados medidas que aumentam ou introduzam a luz natural, através da instalação de tubos



solares e claraboias, assim pode haver uma diminuição nos consumos do sistema de iluminação do supermercado.

### 3.12 MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

Com base nas interpretações referentes aos resultados da simulação dinâmica do supermercado realizada em condições reais na **secção 3.10 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DINÂMICA ENERGÉTICA EM CONDIÇÕES REAIS**, e da análise solar realizada na **secção 3.11 ANÁLISE SOLAR**, foi possível propor algumas medidas de melhorias no consumo energético do supermercado, as quais estão listadas a seguir:

- Alteração do coeficiente de transmissão térmica das envolventes opacas;
- Substituição dos elementos envidraçados da fachada voltada à direção sudoeste, presente na zona de vendas;
- Instalação de lamelas ou *brise-soleils* na fachada envidraçada voltada à direção sudoeste;
- Alteração das temperaturas de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização (*setpoint*);
- Melhorias no sistema de iluminação, por meio da instalação de sensores de presença e de tubos solares;
- Alteração dos sistemas de climatização disponíveis no Revit® (ANEXO 10);
- Análise do potencial de produção de energia através da instalação de painéis fotovoltaicos.

#### 3.12.1 Alteração do coeficiente de transmissão térmica das envolventes opacas

A **Portaria n.º 17-A/2016** estabelece valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica máxima admissível para as envolventes opacas e envidraçadas exteriores de edifícios de comércio e serviços para a região de Portugal continental e para as regiões autónomas, e os valores máximos estão especificados para cada zona climática.

O supermercado está localizado na zona climática I1, portanto, segundo a **Portaria n.º 17-A/2016**, o valor máximo admissível para o coeficiente de transmissão térmica (U) para edifícios construídos a partir de 31 de dezembro de 2015, e o valores reais do U do supermercado, estão representados na Tabela 41.

Tabela 41 - Comparação entre os valores de coeficiente de transmissão térmica real e máximo admissível.

Envolvente exterior	U real (W/m <sup>2</sup> °C)	U máximo admissível (W/m <sup>2</sup> °C)
Tipo 1 – PE Sudeste	0,40	0,70
Tipo 2 – PE Nordeste	0,35	0,70
Tipo 3 – PE Noroeste - cais noturno	0,39	0,70
Tipo 4 – PE Noroeste - zona de vendas	0,39	0,70
Tipo 5 – Fachada envidraçada	1,30	4,30
Tipo 6 – PE Sudeste maciça	0,29	0,70
Tipo 7 – PE Sudeste - cais noturno	0,59	0,70
Cobertura	0,47	0,50
Piso 0	0,21	-

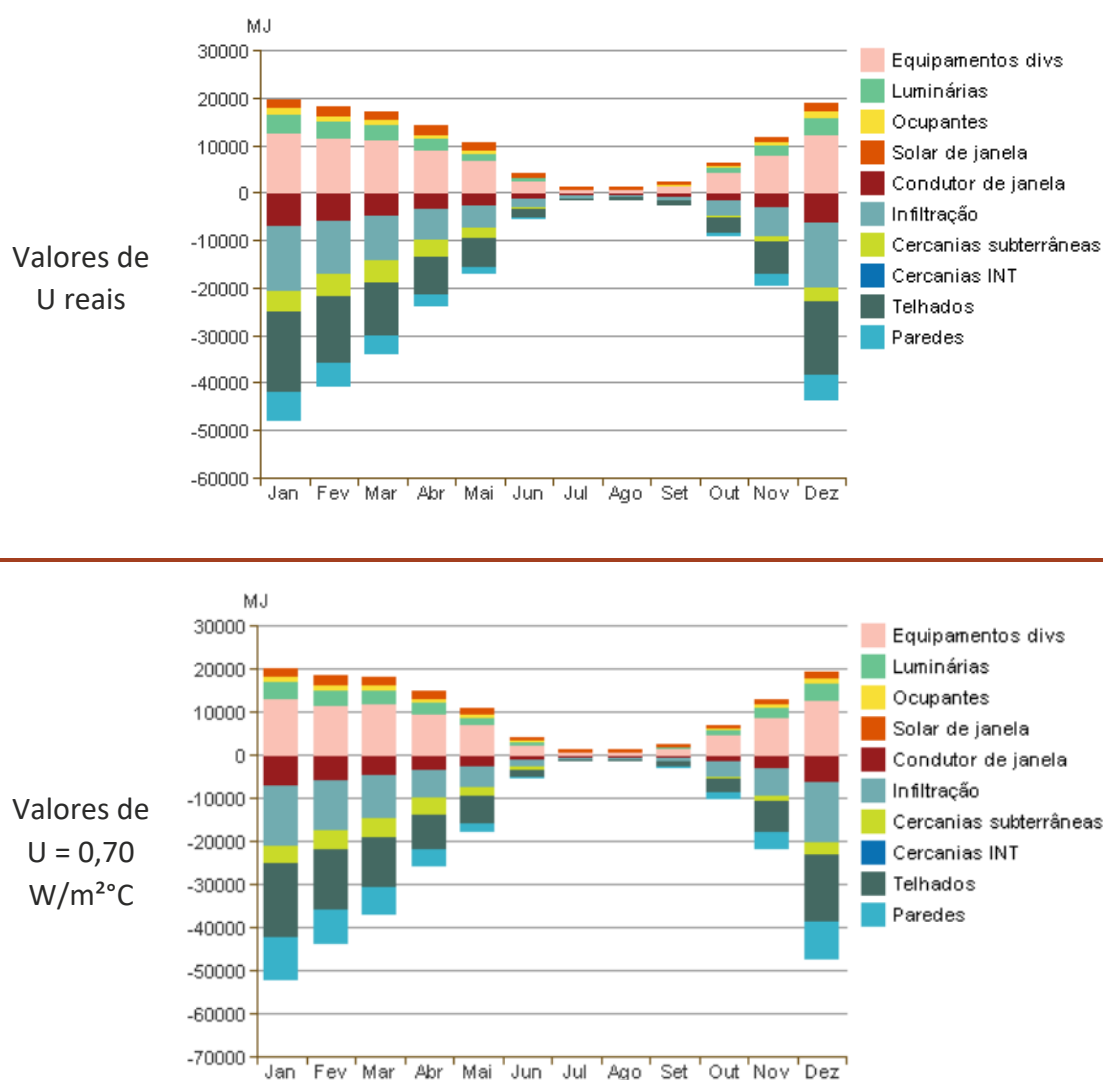
A análise realizada na **secção 3.10.1 Possíveis medidas de otimização energética para os setores consumidores**, indica que a utilização de valores maiores de coeficiente de transmissão térmica (U), em relação aos valores reais presente no supermercado, podem resultar numa diminuição dos consumos energéticos do supermercado.

Portanto, foi proposto substituir os valores de coeficiente de transmissão térmica reais pelos valores máximos admissíveis dos elementos opacos. Entretanto, o valor de U real da cobertura já é próximo do valor máximo admissível, assim foram modificados somente os valores de U das paredes externas.

#### 3.12.1.1 Aumento do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores

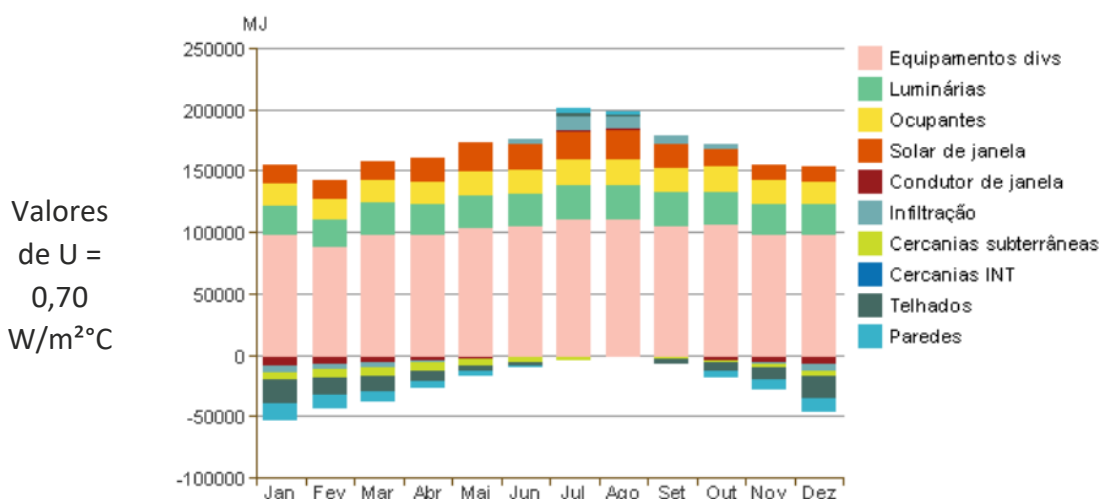
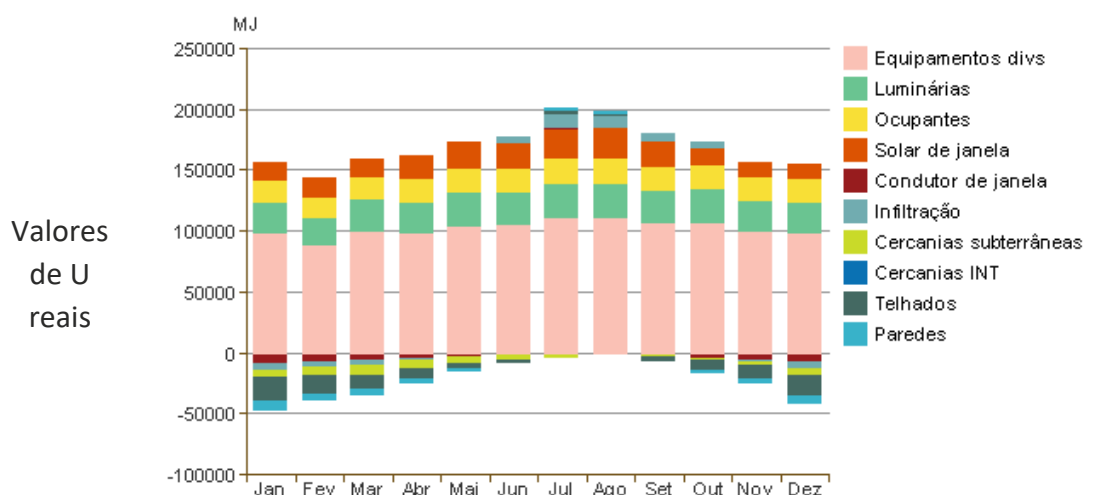
Para a realização da simulação dinâmica, os valores de U da cobertura e da fachada envidraçada foram mantidos, e os valores do U de todas as paredes externas foram definidos sendo iguais a **0,70 W/m<sup>2</sup>°C**.

O impacto do aumento do valor dos coeficientes de transmissão térmica das paredes externas na carga de aquecimento, pode ser percebido através da comparação entre os gráficos de carga mensal de aquecimento representados na Tabela 42.

Tabela 42 - Comparação entre a carga mensal de aquecimento com valores de U reais e com  $U = 0,70 \text{ W/m}^2\text{C}$ .

O aumento nos valores do coeficiente de transmissão térmica das paredes externas, resultou num aumento da perda de calor do supermercado para o ambiente externo, consequentemente aumentando a carga de aquecimento, como pode ser visto por meio de comparação entre os gráficos presentes na Tabela 42.

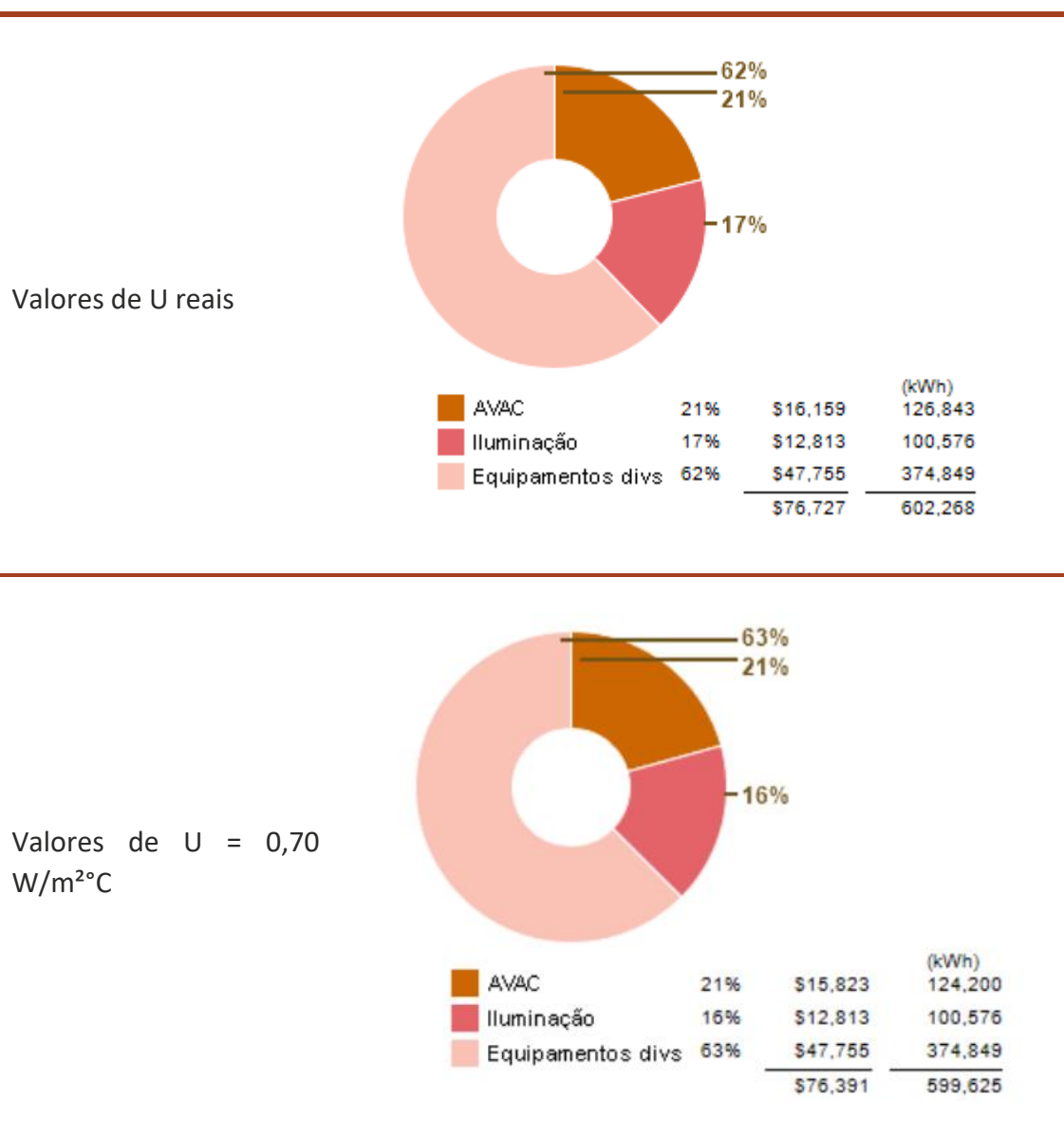
A Tabela 43 contém os gráficos referentes a carga mensal de arrefecimento com o valor de U real e o proposto.

Tabela 43 - Comparação entre a carga mensal de arrefecimento com valores de U reais e com  $U = 0,70 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .

O aumento da perda de calor resulta na compensação da carga de arrefecimento, assim como pode ser visto na Tabela 43, que consequentemente causa uma diminuição no consumo elétrico do sistema de climatização.

Por meio dos gráficos da carga mensal de aquecimento e arrefecimento, não foi possível perceber se o aumento do valor do coeficiente de transmissão térmica resultou num aumento ou diminuição do consumo relacionado ao sistema de climatização. Assim, os gráficos dos consumos elétricos anuais do supermercado para condições reais e a medida proposta estão representados na Tabela 44.

Tabela 44 - Comparação do consumo elétrico anual dos sistemas de climatização da simulação em condições reais e da simulação com valor de  $U = 0,70 \text{ W/m}^2\text{C}$ .



Assim, com base nos gráficos dos consumos e custos elétricos representados na Tabela 44, pode-se observar que o aumento do valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes externas para o valor máximo admissível, resultou numa diminuição no consumo energético em **2.634 kWh/ano**, representando uma possível redução dos custos de **336 €/ano**.

Com o intuito de validar os resultados referente ao aumento do coeficiente de transmissão térmica obtidos através do Revit®, foi realizada uma simulação dinâmica utilizando o *software* Trace® 700 aplicada no mesmo cenário, e os resultados obtidos estão representados na Tabela 45.

Tabela 45 - Comparação dos resultados obtidos com Revit® e o Trace® 700 com o aumento do coeficiente de transmissão térmica.

<b>Software</b>	<b>Poupança energética global (kWh/ano)</b>	<b>Redução do custo energético (€/ano)</b>
Revit®	2.643,00	336,00
Trace® 700	1.556,00	198,48

Os dois *softwares* mostraram um potencial de diminuição do consumo elétrico, apesar de haver uma diferença de 1.087 kWh/ano. A redução no consumo elétrico devido ao aumento no coeficiente de transmissão térmica pode ser que não seja relevante, mas na construção do edifício talvez seja possível uma redução do custo energético em relação ao investimento na compra de materiais de isolamento térmico para as paredes externas. Então, como o objetivo do trabalho é propor medidas de otimização energética, esta medida cumpre com o objetivo do trabalho.

### 3.12.2 Substituição dos elementos envidraçados na fachada voltada à direção sudoeste

Por meio do gráfico da carga mensal de arrefecimento do modelo em condições reais, ilustrado na Figura 63, foi possível perceber que há um aumento da procura de arrefecimento causado pelo ganho solar através das janelas e fachadas envidraçadas do supermercado. Assim, as medidas de otimização energética desta secção propõem a substituição de todos os painéis de vidros presentes na fachada envidraçada, ilustrada na Figura 41, por painéis de vidros que possuem um coeficiente de ganho de calor solar menor, mas buscando obter a maior quantidade de transmissão de luz possível.

Os tipos de vidros foram escolhidos dentre as opções padronizadas presentes no Revit®. Todos os tipos de elementos envidraçados estão representados no ANEXO 4.

#### 3.12.2.1 Medida 1 – *Single glazing SC=05*

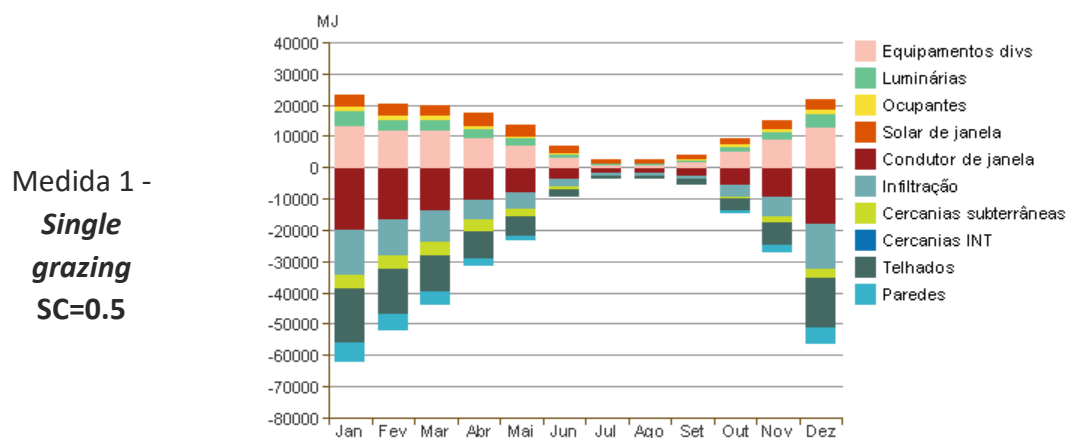
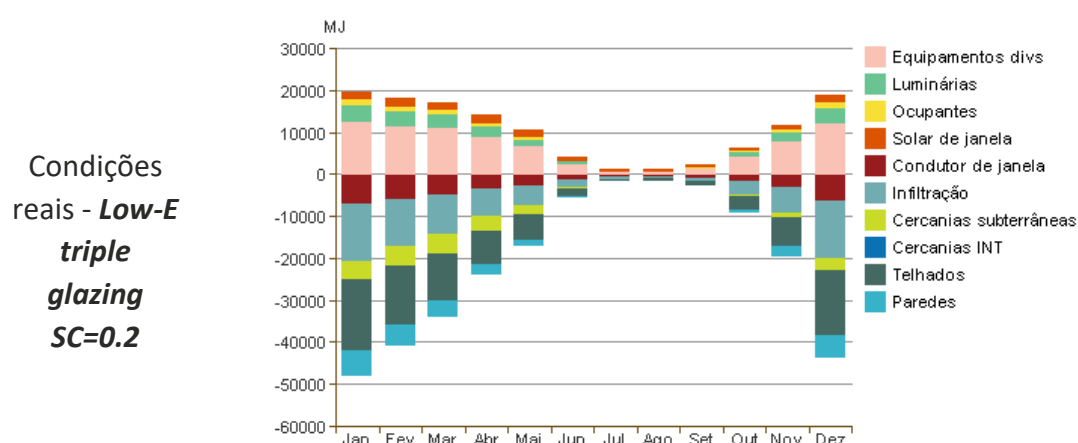
Esta medida propõe a substituição do vidro da fachada envidraçada do tipo **Low-E triple glazing SC=0.2** (simulado em condições reais), pelo *single glazing SC=0.5*. As características dos tipos dos vidros estão na Tabela 46.

Tabela 46 – Características dos vidros *Low-E triple glazing* SC=0.2 e *single glazing* SC=0.5.

Tipo	Transmissão de luz visível	Coefficiente de ganho de calor solar	Coefficiente de transmissão térmica (W/m <sup>2</sup> °C)
<i>Low-E triple glazing</i> SC=0.2	0,55	0,26	1,46
<i>Single glazing</i> SC=0.5	0,46	0,59	6,70

O tipo *single glazing* SC=0.5 foi escolhido para confirmar que o aumento do coeficiente de ganho de calor solar e do coeficiente de transmissão térmica, causam o aumento dos consumos elétricos dos sistemas de climatização, devido ao aumento na condução de calor pela fachada envidraçada, e pelo ganho de calor solar.

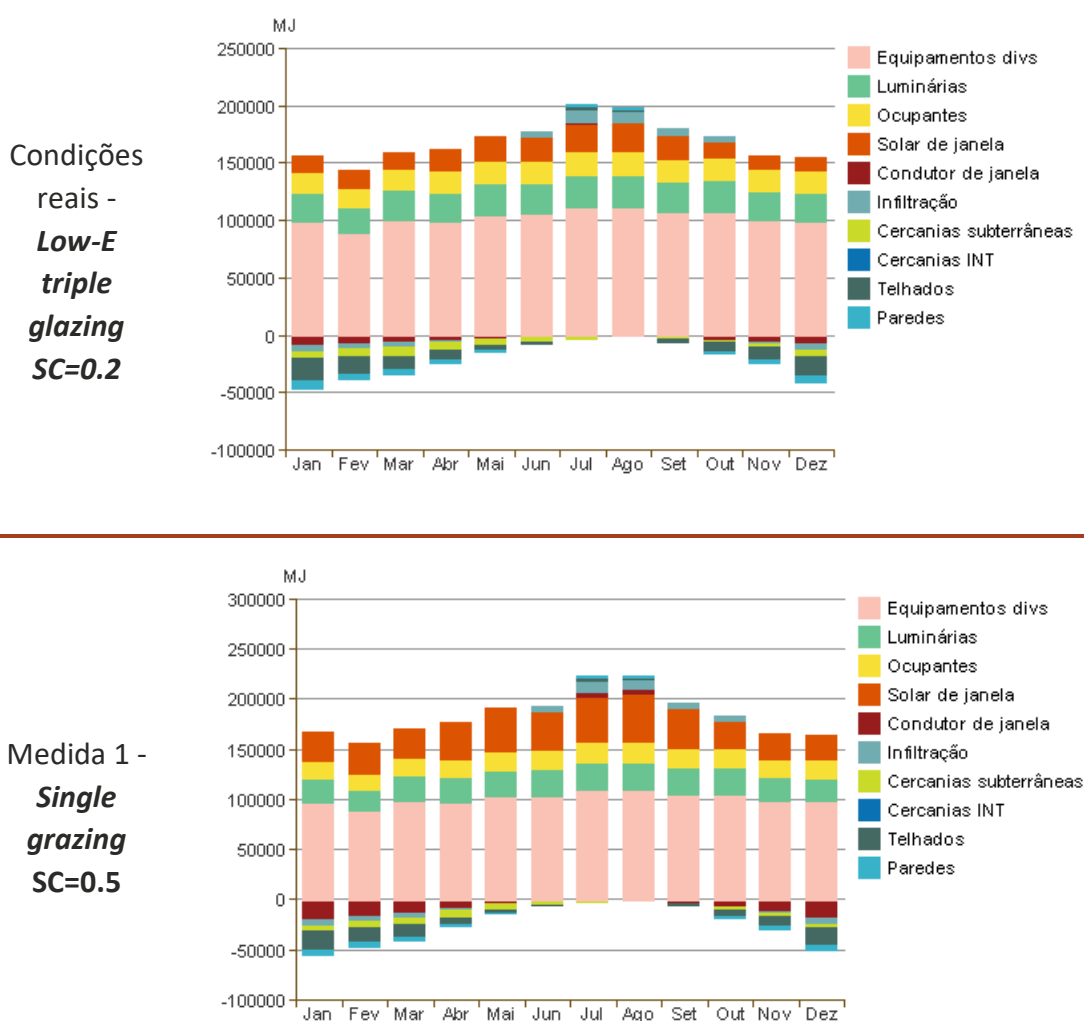
Na Tabela 47 está a comparação da carga mensal de aquecimento da simulação em condições reais e da medida 1 – *single glazing* SC=0.5.

Tabela 47 - Comparação entre a carga mensal de aquecimento em condições reais e a medida 1 – *single glazing* SC=0.5.

Percebe-se através do gráfico de carga mensal de aquecimento da medida 1 – *single glazing* SC=0.5, que a procura por aquecimento no mês de janeiro praticamente quadruplicou, devido a perda de calor pela condução da fachada que era de aproximadamente -5.000 MJ e aumentou para quase -20.000 MJ. A perda de calor provavelmente ocorre durante a noite, quando a temperatura do ambiente externo é mais baixa do que a do interior do supermercado.

Na Tabela 48 estão os gráficos das cargas mensais de arrefecimento da simulação em condições reais e da medida 1 – *single glazing* SC=0.5.

Tabela 48 - Comparação entre a carga mensal de arrefecimento da simulação em condições reais e da medida 1 – *single glazing* SC=0.5.



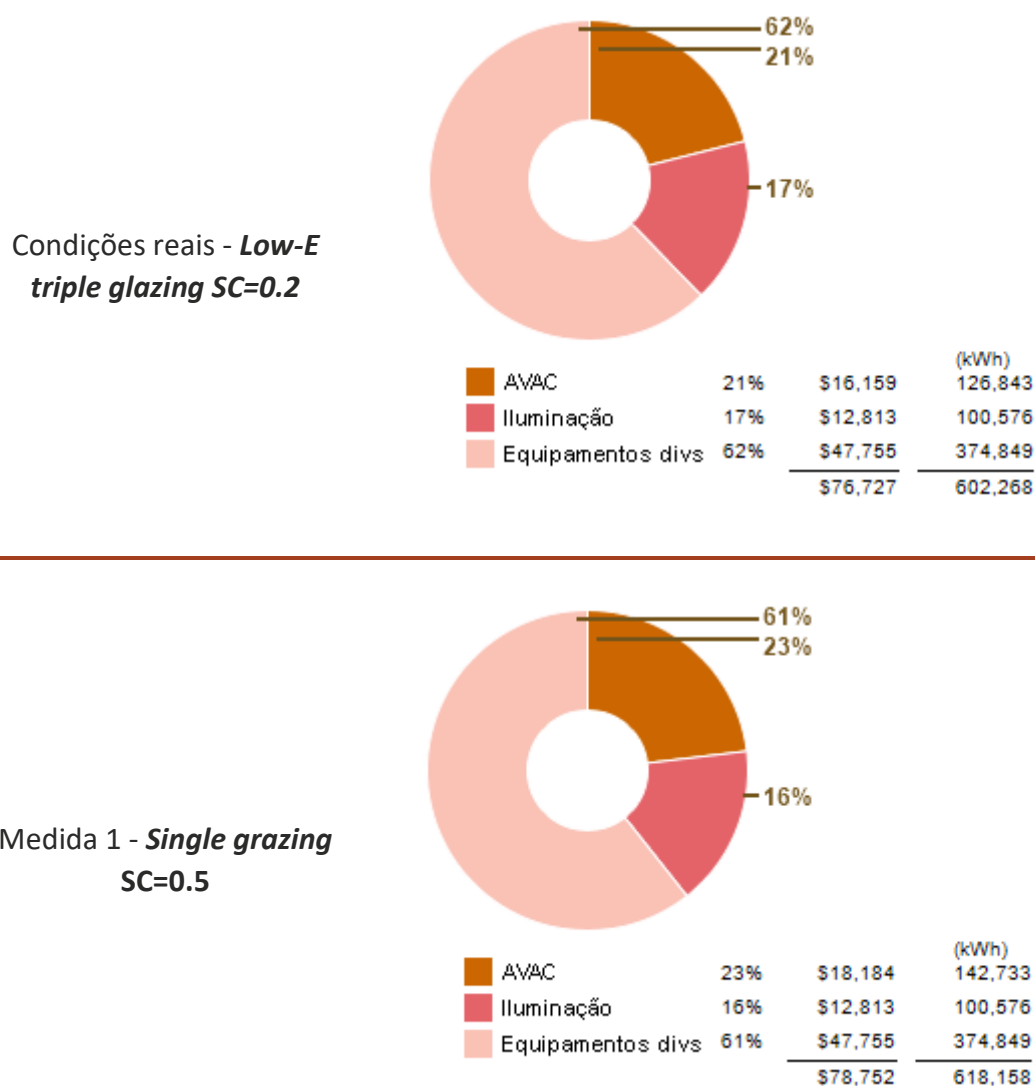
Em relação ao gráfico carga mensal de arrefecimento, devido a medida 1 possuir um coeficiente de transmissão térmica maior que o modelo em condições reais, houve o aumento da transferência de calor pela fachada para o ambiente externo, como pode ser observado no gráfico apresentado Tabela 48, pelo termo “Condutor de janela”, o que representa a perda de calor do ambiente interno supermercado, assim o valor é



negativo. Esta perda de calor resulta na compensação da carga de arrefecimento, com isso o sistema de climatização trabalharia menos, diminuindo o consumo energético. Entretanto, devido a medida 1 possuir um valor maior do coeficiente de ganho de calor solar em relação às condições reais, resulta no aumento do ganho de calor solar, como representado pelo termo do gráfico “Solar de janela”, logo um aumento na procura por arrefecimento.

Portanto, considerando o balanço energético global, a medida 1, aumenta a procura por arrefecimento, assim o consumo energético dos sistemas de climatização do supermercado deve aumentar. Os gráficos dos consumos elétricos da simulação em condições reais e da medida 1 – *single glazing* SC=0.5 estão representados na Tabela 49.

Tabela 49 – Comparação do consumo elétrico anual dos sistemas de climatização da simulação em condições reais e a medida 1 – *single glazing* SC=0.5.



Como esperado, a medida 1 – *single glazing SC=0.5* elevou o consumo energético do sistema da climatização em 16.890,00 kWh/ano, que representa um aumento no custo energético de 2.025,00 €/ano

Então, os vidros que possuem valores dos coeficientes de ganho de calor solar e do coeficiente de transmissão térmica maiores que dos vidros reais do supermercado, não contribuem para o aumento da eficiência energética do supermercado, pois causam o aumento do consumo elétrico com os sistemas de climatização.

### 3.12.2.2 Medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating*

Esta medida propõe a substituição do vidro da fachada envidraçada do tipo **Low-E triple glazing SC=0.2**, pelo **Large double-glazed windows - reflective coating**, as características dos tipos de vidros estão na Tabela 50.

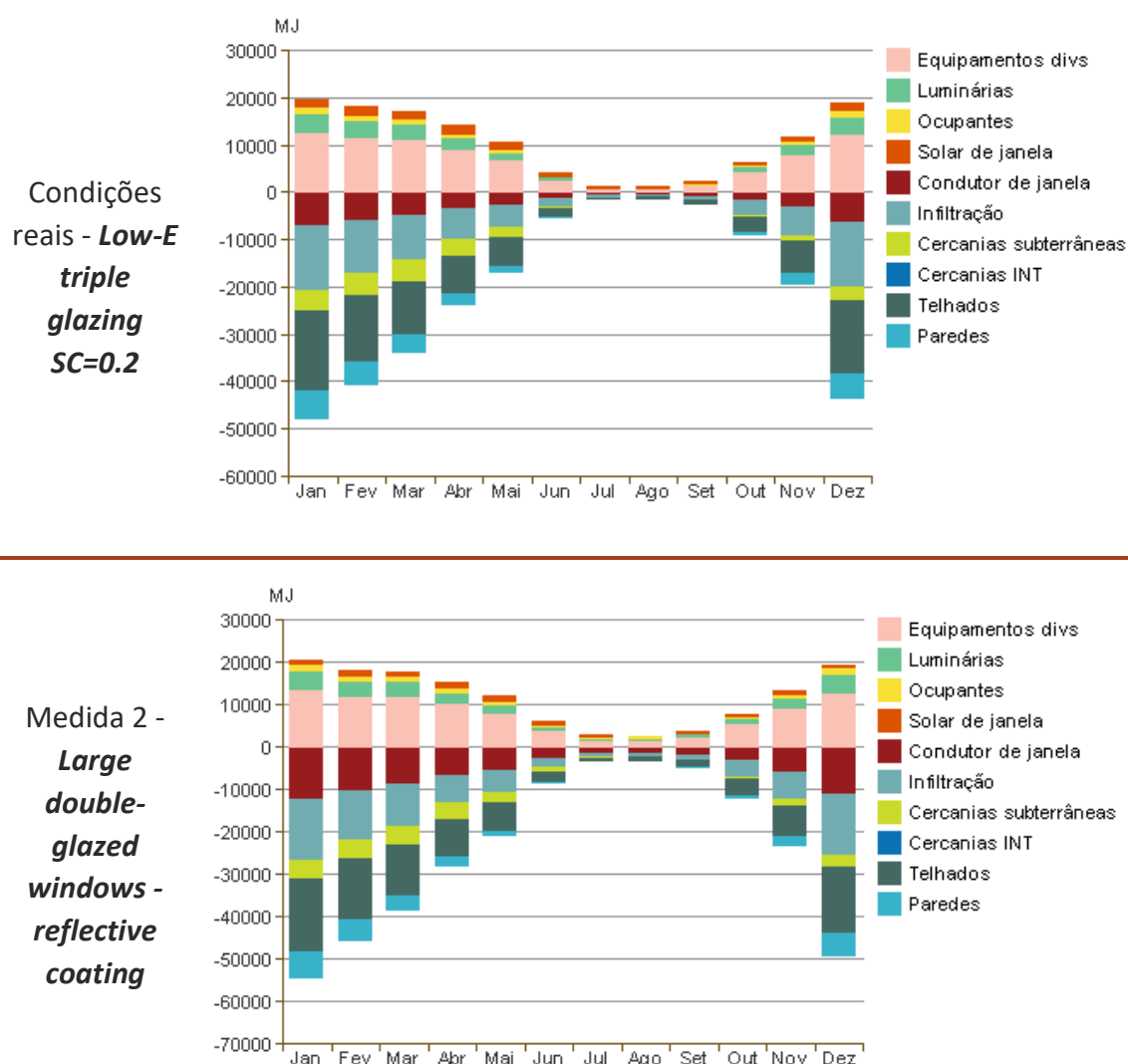
Tabela 50 - Características dos vidros *Low-E triple glazing SC=0.2* e *Large double-glazed windows - reflective coating*.

Tipo	Transmissão de luz visível	Coeficiente de ganho de calor solar	Coeficiente de transmissão térmica (W/m <sup>2</sup> °C)
<i>Low-E triple glazing SC=0.2</i>	0,55	0,26	1,46
<i>Large double-glazed windows - reflective coating</i>	0,07	0,13	3,20

A medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating*, possui um coeficiente de ganho de calor solar menor, e um coeficiente de transmissão térmica maior do que da simulação em condições reais.

A carga mensal de aquecimento da simulação em condições reais e da Medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating* estão representadas na Tabela 51.

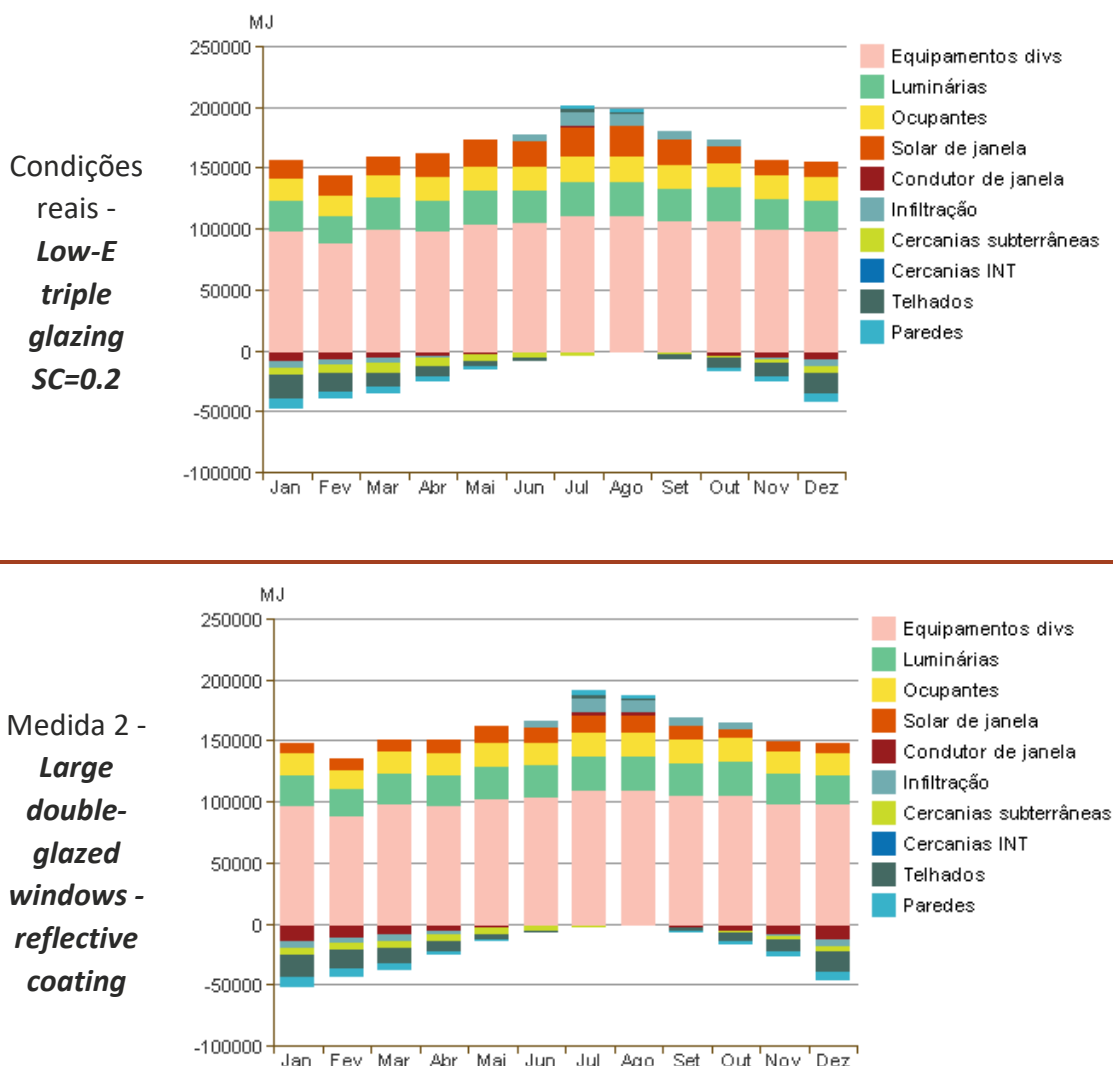
Tabela 51 - Comparação entre a carga mensal de aquecimento da simulação em condições reais e da medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating*.



Como o vidro da Medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating*, possui um coeficiente de ganho de calor solar menor do que da simulação em condições reais, o ganho de calor diminuiu (Solar de janela), e como o seu coeficiente de transmissão térmica é maior, aumentou a perda de calor por condução pela fachada envidraçada. Portanto, a Medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating* aumentou a procura por aquecimento.

A carga mensal de arrefecimento em condições reais e da Medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating* estão representadas na Tabela 52.

Tabela 52 - Comparação entre a carga mensal de arrefecimento da simulação em condições reais e da medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating*.



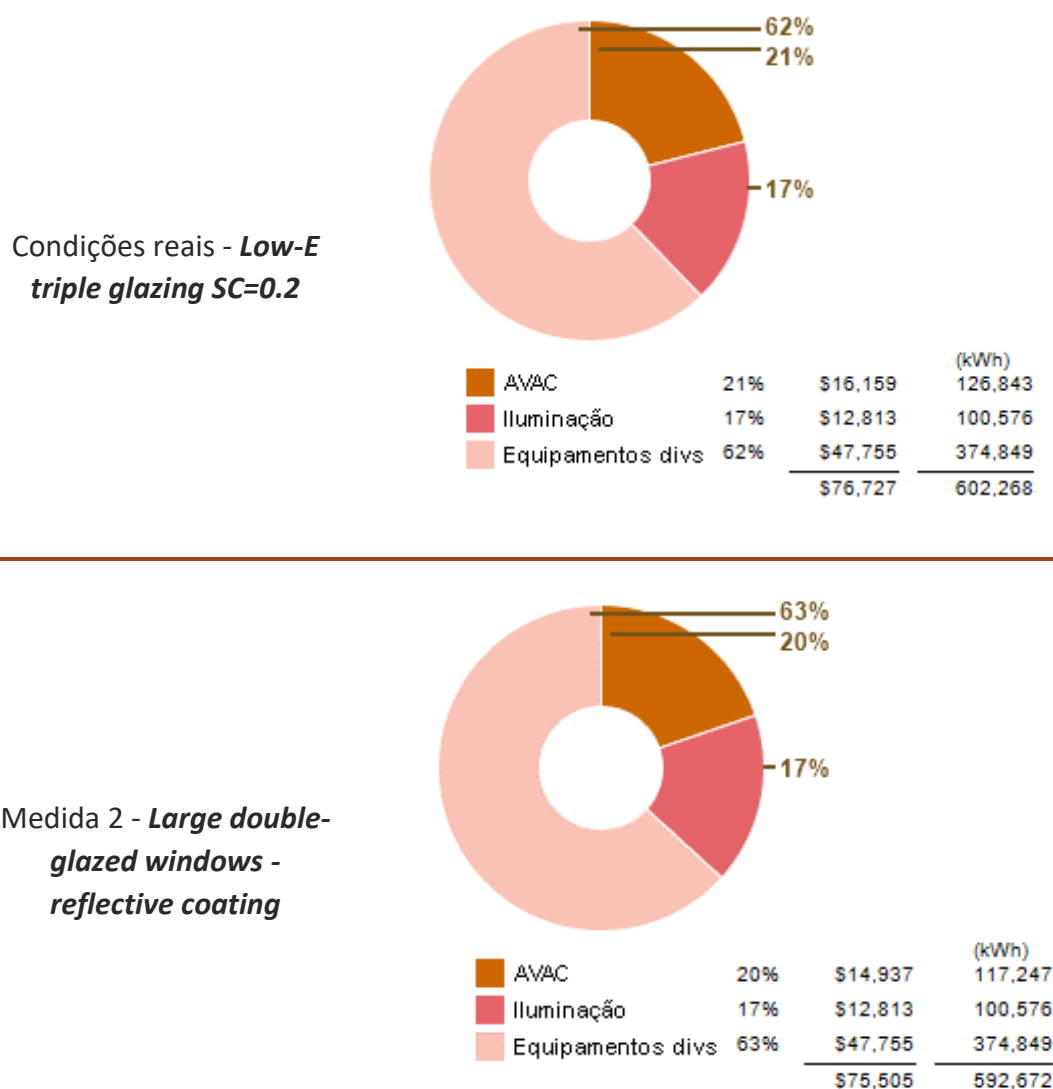
Como comentado anteriormente, devido o vidro *Large double-glazed windows - reflective coating* possuir um coeficiente de ganho de calor solar menor, o ganho de calor (solar de janela), é menor do que da simulação em condições reais, assim diminuindo a procura por arrefecimento. E pelo vidro ter um coeficiente de transmissão térmica maior, aumentou a perda de calor por condução pela fachada do supermercado (condutor de janela), assim também contribuindo para a diminuição na procura de arrefecimento.

Com base na carga mensal de arrefecimento e aquecimento, presentes nas Tabela 51 e Tabela 52, apesar da escala dos gráficos serem grandes, é possível perceber que a procura por aquecimento aumentou numa proporção menor que a diminuição na procura por arrefecimento, através da medida 2- *Large double-glazed windows -*

*reflective coating*, assim sendo possível uma redução dos custos energéticos por parte dos sistemas de climatização.

Portanto, para confirmar a suposição de haver redução dos custos energéticos com a medida 2- *Large double-glazed windows - reflective coating*, na Tabela 53 estão os gráficos referentes aos consumos e custos elétricos anuais.

Tabela 53 - Comparação do consumo elétrico anual dos sistemas de climatização em condições reais e a medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating*.



Como comentado anteriormente, **medida 2 - Large double-glazed windows - reflective coating**, permite uma redução dos custos energéticos de 1.222,00 €/ano, que representa uma diminuição do consumo elétrico anual de 9.596,00 kWh/ano, mas em contrapartida, há uma drástica diminuição da quantidade de luz natural que seria admitida na zona de vendas, pois o vidro atual do supermercado possui uma transmissão de luz visível igual a 55%, e o vidro da medida 2, igual a 7%. Assim,

podendo haver a necessidade de se investir mais em luminárias o que aumentaria o consumo de energia elétrica.

Portanto, para determinar se a medida 2 - *Large double-glazed windows - reflective coating* é economicamente viável, é necessário a realização de um estudo luminotécnico para poder quantificar o impacto da diminuição natural, principalmente na zona de vendas, e quantas luminárias a mais para suprir a diminuição da luz natural, assim sendo um estudo para trabalhos futuros.

### 3.12.2.3 Medida 3 - *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass*

Esta medida propõe a substituição do vidro da fachada envidraçada do tipo **Low-E triple glazing SC=0.2**, pelo **Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass**. As características dos vidros estão descritas na Tabela 54.

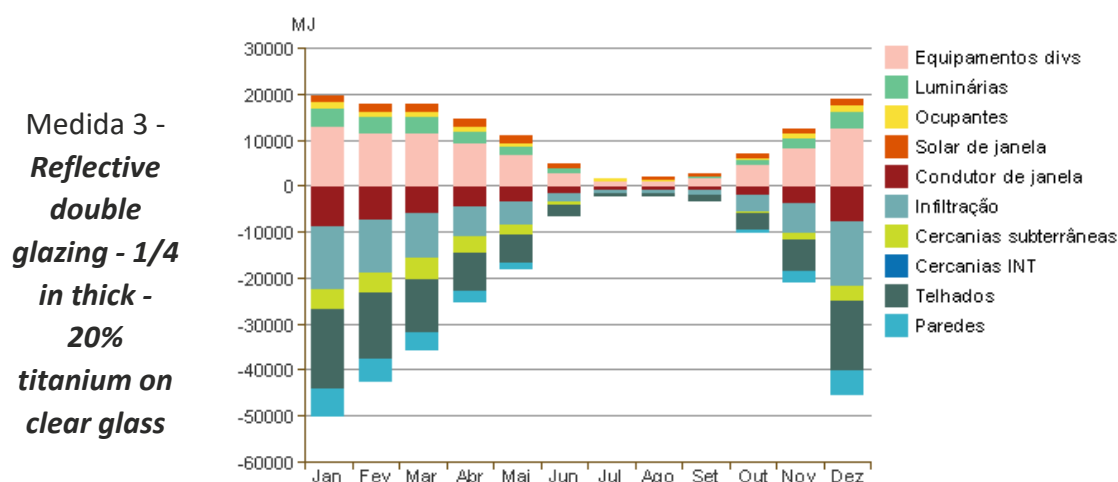
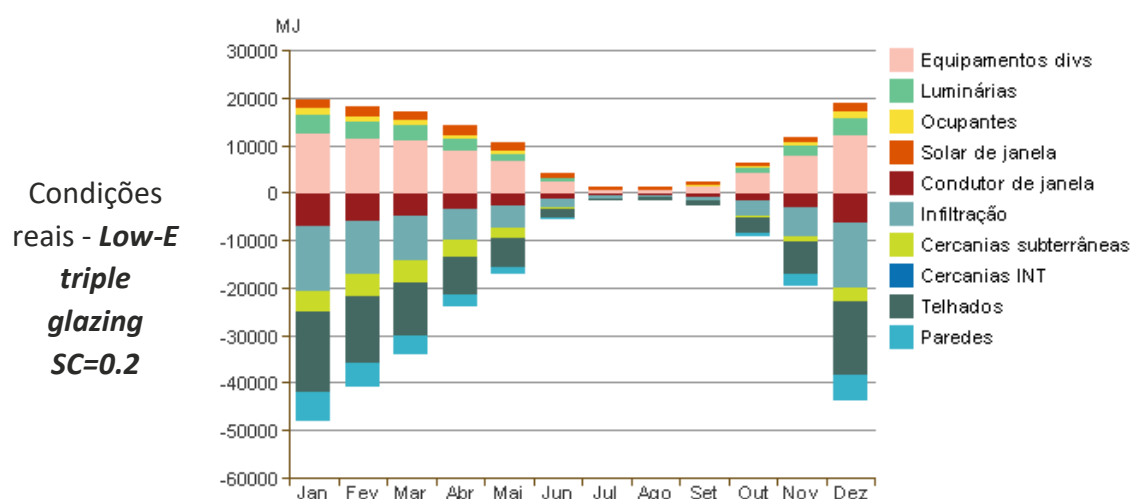
Tabela 54 - Características dos vidros *Low-E triple glazing SC=0.2* e *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass*.

Tipo	Transmissão de luz visível	Coefficiente de ganho de calor solar	Coefficiente de transmissão térmica (W/m <sup>2</sup> °C)
<i>Low-E triple glazing SC=0.2</i>	0,55	0,26	1,46
<i>Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass</i>	0,18	0,21	1,99

O vidro da medida 3 - *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass*, possui um coeficiente de ganho de calor solar um pouco menor que da simulação do cenário atual, e um coeficiente de transmissão térmica maior do que da simulação em condições reais.

A carga mensal de aquecimento da simulação em condições reais e da medida 3 - *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass* estão representadas na Tabela 55.

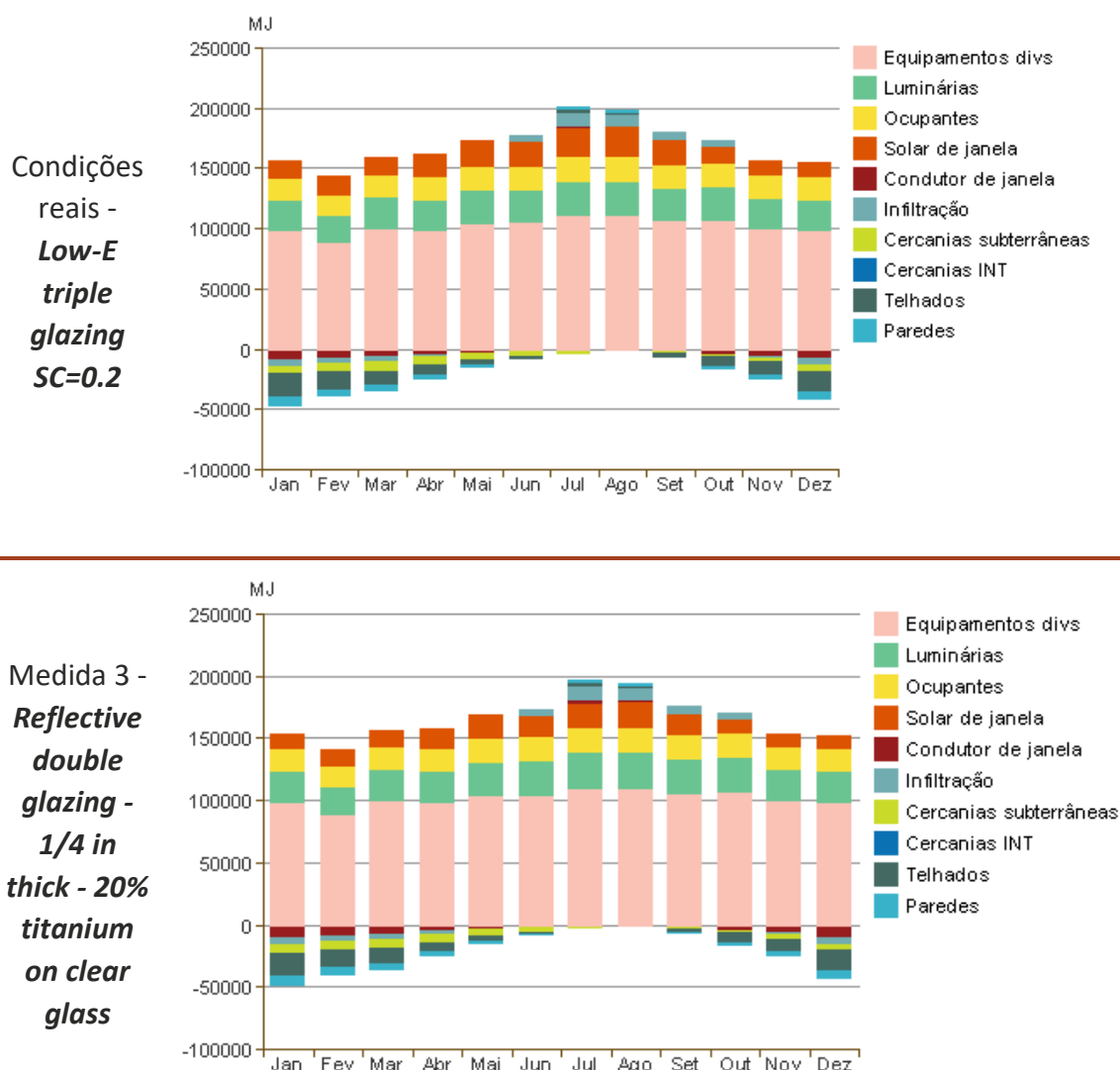
Tabela 55 - Comparação entre a carga mensal de aquecimento da simulação em condições reais e da medida 3 - *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass*.



Devido o tipo de vidro da medida 3 - *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass*, possuir um coeficiente de ganho de calor solar próximo com o da simulação em condições reais, não foi possível perceber variações no ganho de calor (solar de janela). Por causa do coeficiente de transmissão térmica da medida 3, ser maior do que o da simulação em condições reais, houve uma perda maior de calor através da condução (condutor de janela), que resulta no aumento da procura por aquecimento no supermercado.

A carga mensal de arrefecimento da simulação em condições reais e da medida 3 - *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass* estão representadas na Tabela 56.

Tabela 56 - Comparação entre a carga mensal de arrefecimento da simulação em condições reais e da medida 3 - *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass.*



Por causa do coeficiente de ganho de calor solar da medida 3 ser menor do que a da simulação em condições reais, houve uma diminuição no ganho de calor (solar de janelas), com isso uma diminuição na procura por arrefecimento. E um aumento na perda de calor pela condução, o que também contribui para a diminuição na procura por arrefecimento.

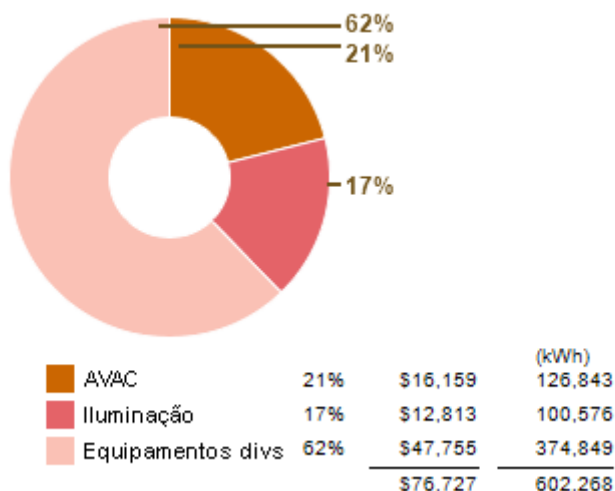
Na medida 3 é difícil perceber pelos gráficos de carga mensal de aquecimento e arrefecimento, representados nas Tabela 55 e Tabela 56, se haverá uma redução ou aumento no consumo elétrico dos sistemas de climatização, devido a pequena variação em comparação a escala dos gráficos.

Na Tabela 57, estão os gráficos dos custos e consumos elétricos anuais da simulação em condições reais e da medida 3 - *Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass.*

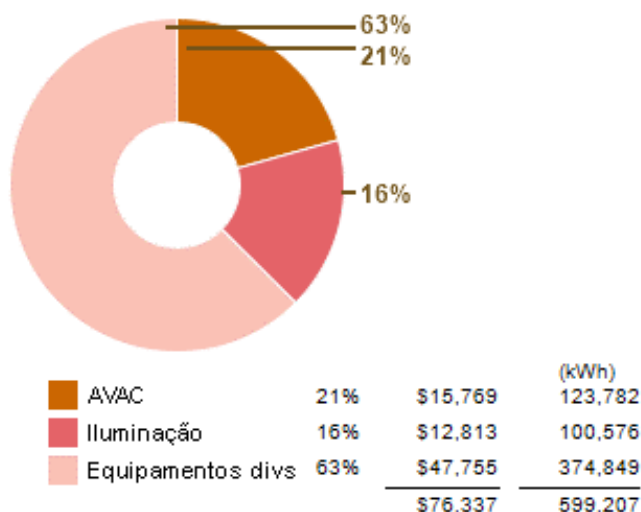


Tabela 57 - Comparação do consumo elétrico anual dos sistemas de climatização em condições reais e a Medida 3 - Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass.

Condições reais - **Low-E triple glazing SC=0.2**



Medida 3 - **Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass**



A medida 3 - **Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass**, resultou numa redução dos custos energéticos de 390 €/ano, que representa uma diminuição do consumo elétrico de 3.061,00 kWh/ano, uma redução dos custos energéticos menor que a medida 2 - Large double-glazed windows - reflective coating. Entretanto, a medida 3 possui uma transmissão de luz visível igual a 18%, enquanto a medida 2 possui 7%. Comparando com a simulação em condições reais, as medidas 2 e 3, possuem pouca transmissão de luz visível, mas proporcionam poupanças energéticas. Portanto, como na medida 2, é necessário realizar um estudo luminotécnico para analisar o impacto da fachada com transmissão de luz visível igual a 18%.

### 3.12.2.4 Resumo das medidas de substituição do vidro da fachada

Os três tipos de vidros propostos nas medidas de melhoria dos elementos envidraçados estão com as suas características descritas na Tabela 58.

Tabela 58 - Propriedades dos elementos envidraçados propostos na melhoria da fachada.

<b>Tipo</b>	<b>Transmissão de luz visível</b>	<b>Coefficiente de ganho de calor solar</b>	<b>Coefficiente de transmissão térmica (W/m<sup>2</sup>°C)</b>
<i>Low-E triple glazing SC=0.2</i>	0,55	0,26	1,46
<i>Medida 1- Single glazing SC=0.5</i>	0,46	0,59	6,70
<i>Medida 2- Large double-glazed windows - reflective coating</i>	0,07	0,13	3,20
<i>Medida 3- Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass</i>	0,18	0,21	1,99

Para facilitar a comparação entre as medidas de melhorias que propõem a substituição do vidro da fachada do supermercado (Figura 41), a variação nos consumos e dos custos energéticos referentes aos sistemas estão representados na Tabela 59, desconsiderando-se o impacto da diminuição da incidência de luz natural na zona de vendas.

As três medidas propostas também foram simuladas no Trace<sup>®</sup> 700 para comparar e validar os resultados obtidos pelo Revit<sup>®</sup>, e os resultados estão representados na Tabela 59, sendo que os valores positivos significam o aumento nos consumos/custos anuais de energia elétrica, e os valores negativos, significam diminuição dos consumos/custos anuais com a energia elétrica do supermercado.

Tabela 59 – Consumos e custos elétricos anuais dos sistemas de climatização.

Medida	Variação no consumo elétrico global Revit® (kWh/ano)	Variação do custo energético Revit® (€/ano)	Variação no consumo elétrico global Trace® 700 (kWh/ano)	Variação do custo energético Trace® 700 (€/ano)
Medida 1 - <b>Single glazing SC=05</b>	+ 15.890,00	+ 2.025,00	+ 8.926,00	+ 1.137,20
Medida 2 - <b>Large double-glazed windows - reflective coating</b>	- 9.596,00	- 1.222,00	- 5.074,00	- 646,43
Medida 3 - <b>Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass</b>	- 3.061,00	- 390,00	-2.012,00	- 256,33

A medida 1 simulada nos dois *softwares* indicou um aumento dos consumos elétricos do supermercado, devido o aumento do ganho de calor solar através da fachada envidraçada já que o tipo do vidro proposto possui os coeficientes de transmissão térmica e de ganho de calor solar maiores que os definidos no modelo em condições reais. Portanto, a medida 1 não cumpri com o objetivo de otimização energética.

As outras duas medidas mostraram uma possível diminuição nos consumos energéticos nas simulações através dos resultados obtidos nos dois *softwares*, sendo que a medida 2, resultou numa diminuição maior no consumo elétrico, devido seus coeficientes de ganho de calor solar e de transmissão térmica serem menores que os coeficientes definidos no modelo em condições reais, entretanto, também possui um percentual de transmissão de luz visível muito pequeno comparados com os tipos de vidros propostos nas outras medidas e no modelo em condições reais, assim havendo uma perda considerável na iluminação natural da zona de vendas através da fachada envidraçada.

Portanto, considerando apenas o objetivo de reduzir os consumos elétricos, a medida 2, é a melhor opção, mas se considerar um balanço entre as propriedades de transmissão de luz visível, coeficiente de ganho de calor solar, e o coeficiente de transmissão térmica, a melhor opção é o tipo **Low-E triple glazing SC=0.2**, o qual foi

definida no modelo em condições reais, sendo o tipo de vidro que mais se aproxima da realidade da fachada envidraçada do supermercado.

### 3.12.3 Instalação de lamelas ou *brise-soleils* na fachada envidraçada voltada à direção sudoeste

Esta medida propõe a aplicação de uma técnica de *daylighting*, classificada por M. Kischkoweit-Lopin [104, p. 79] , e descrita neste trabalho na Tabela 3, como sistemas de sombreamento primário usando luz solar direta do tipo lamelas ou *brise-soleils*, na fachada exterior do supermercado, ilustrada na Figura 41, com a finalidade de controlar a incidência de luz solar na zona de vendas para diminuir o ganho térmico solar, assim reduzindo o consumo elétrico do sistema de climatização.

Segundo M. S. J. Palhinha [129, p. 47], as lamelas ou *brise-soleils* podem ser sistema móvel ou fixo, sendo que neste trabalho será abordado apenas as fixas, e podem ser dispostas na horizontal ou vertical. Portanto, considerando apenas as lamelas fixas, elas podem ser orientadas individualmente para otimizar os fluxos de calor e de incidência de luz solar, ou até mesmo impedir a entrada de raios solares durante algumas horas do dia em determinados meses do ano, no ambiente do edifício.

M. S. J. Palhinha [129, p. 47] comenta que a utilização de lamelas feitas de alumínio possuem a vantagem de reduzir o peso, em comparação a densidade de outros materiais, além do alumínio ser uma material não corrosível, assim diminuindo as manutenções ou trocas das lamelas.

O dimensionamento das lamelas (*brise-soleils*) foi realizado através do diagrama solar, utilizando o transferidor de ângulos e a máscara de sombra. O diagrama solar ou carta solar, permite interpretar a trajetória aparente do sol durante o ano todo, sendo possível determinar alguns parâmetros, como determinar a sombra de um edifício, calcular o número de horas de sol durante um dia específico para uma determinada latitude, e a penetração da luz solar num ambiente [130, p. 55].

Através do diagrama solar é possível determinar a trajetória solar, a hora do dia, o azimute solar, e a altitude solar, como representado na Figura 76.

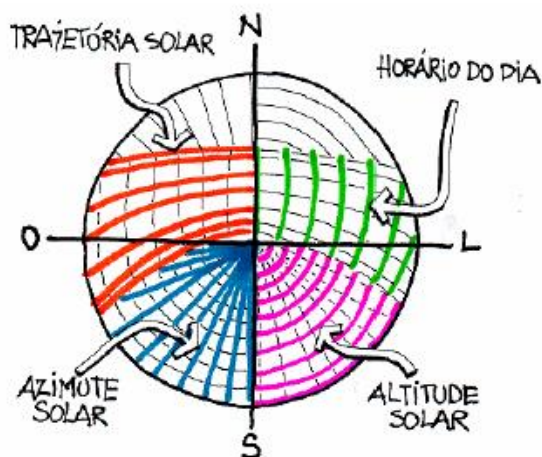


Figura 76 – Informações presentes no diagrama solar [130, p. 54].

Segundo Lamberts et al. [130, p. 58], o transferidor de ângulos possui a finalidade de converter em ângulos a geometria solar de elementos construtivos como obstruções, aberturas, proteções solares, edifícios, e vegetação, assim ele é construído com as mesmas dimensões do diagrama solar para sobrepor o diagrama solar, e possui três ângulos essenciais para se utilizar o transferidor para o dimensionamento das *brise-soleils*.

Os três ângulos importantes do transferidor de ângulos são:  $\alpha$  (alfa),  $\beta$  (beta) e o  $\gamma$  (gama). Segundo Lamberts et al. [130, p. 58], o  $\alpha$  possui duas representações o externo e o interno, quando se refere ao interno, é o ângulo entre o zênite e a direção da incidência do raio solar visto numa planta de corte do elemento de interesse, por exemplo uma janela, já quando se refere ao externo, é o ângulo entre os raios de incidência do Sol com o plano horizontal do elemento de interesse, numa vista de corte. O ângulo  $\alpha$  é representado no transferidor de ângulos, por linhas curvas que começam e terminam na circunferência do diagrama solar, como mostra a Figura 77, onde o Z representa a direção do zênite, e a linha vermelha indica a direção dos raios solares.

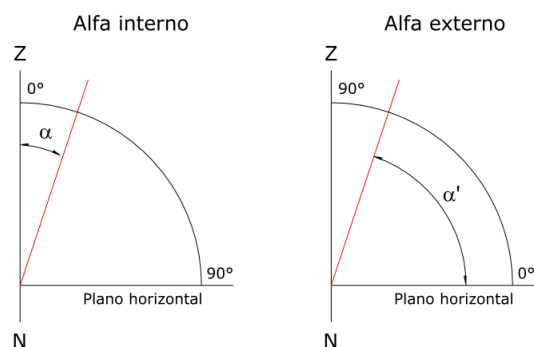


Figura 77 - Ângulo alfa interno e externo [130, p. 59].

O ângulo  $\beta$  é medido no plano do horizonte, entre a reta perpendicular que começa no ponto A e termina no ponto P4, e a reta que começa no ponto A e termina no ponto P1, como ilustrado na Figura 78. E o ângulo  $\gamma$ , também é entre o zênite e os raios solares, mas rotacionado em 90° em relação ao ângulo  $\alpha$ , assim sendo representado na superfície vertical, que representa a vista elevação, como mostra a Figura 78.

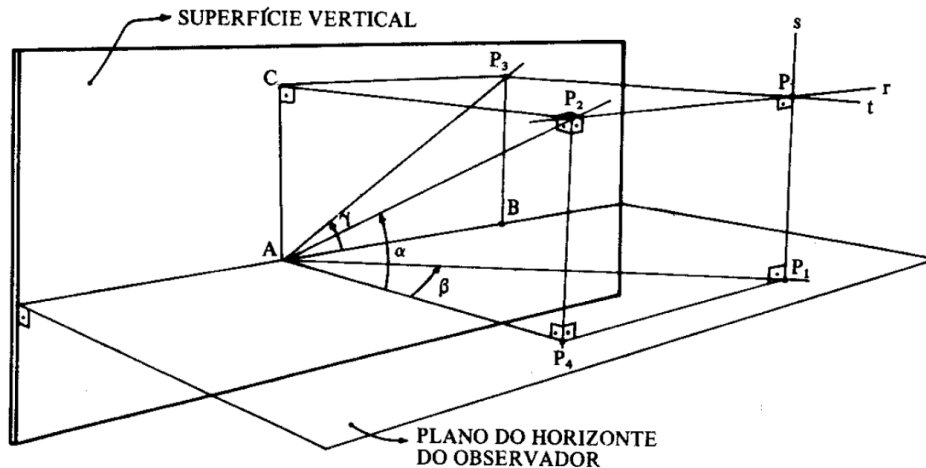


Figura 78 - Representação dos ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  [143, p. 92].

A Figura 79 representa um transferidor de ângulos.

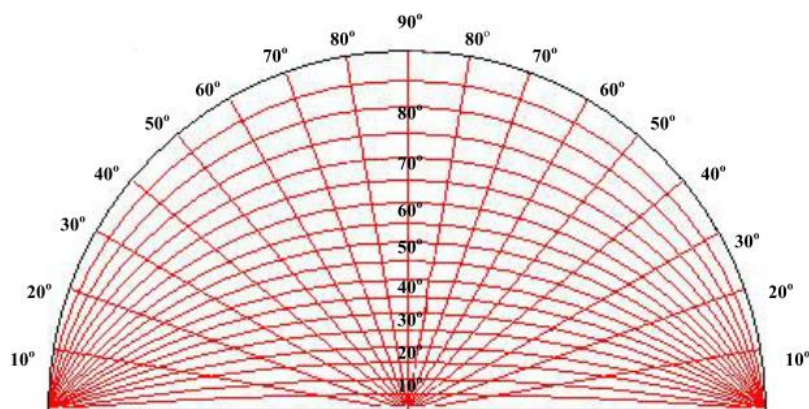


Figura 79 - Transferidor de ângulo [130, p. 59].

As linhas que os ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , representam no transferidor de ângulos, estão ilustradas na Figura 80.

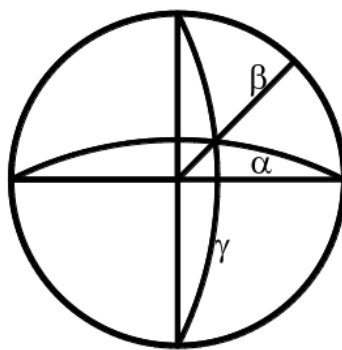


Figura 80 - ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  [130, p. 60].

Segundo Laberts et al. [130, p. 60], a finalidade da máscara de sombra, é representar através do diagrama solar, a sombra proveniente de obstáculos, como edifícios e vegetação, e neste caso, será a representação da sombra das *brise-soleils*.

Para a criação dos diagramas solares foi utilizado o *software* SOL-AR, desenvolvido pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) da Universidade de Santa Catarina, Brasil. O diagrama solar gerado pelo *software* SOL-AR, considerando a latitude da localização do supermercado,  $39,61^\circ$ , e os ângulos com sua representação externa estão representados na Figura 81.

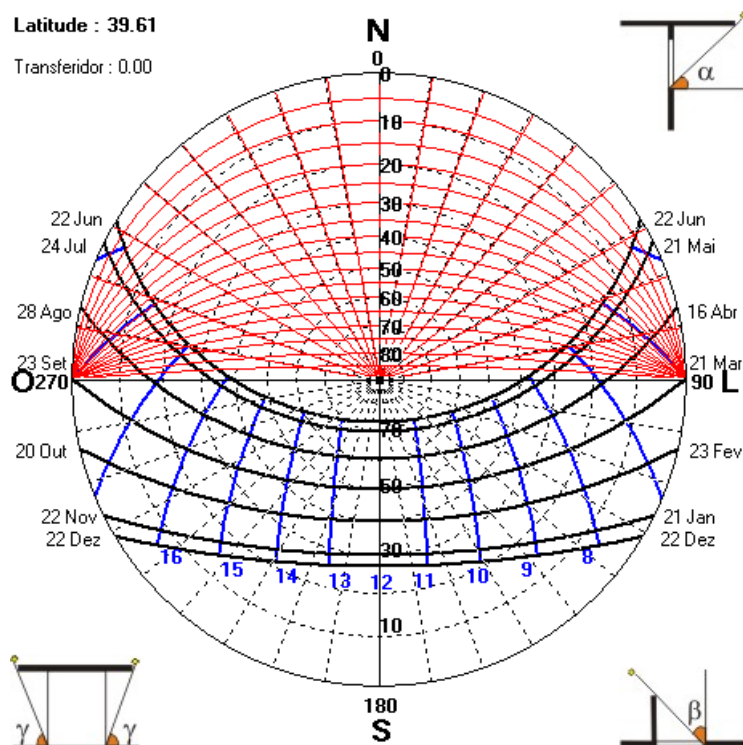


Figura 81 - Diagrama solar criado através do *software* SOL-AR.




Para posicionar o transferidor de ângulos no diagrama solar, há um ângulo denominado de “Orientação”, este ângulo é medido entre o norte verdadeiro (N) e a normal da face da janela ou fachada de interesse. Assim, o norte verdadeiro está representado pela letra N na Figura 81.

Portanto, como o objetivo é a utilização de *brise-soleils* fixas para diminuir a incidência solar na zona de vendas, através da fachada envidraçada a sudoeste, assim foi proposto dois modelos: a *brise-soleils* horizontais, e a *brise-soleils* verticais.

Com base nos gráficos de carga mensal de aquecimento e arrefecimento simulados em condições reais (Figura 62 e Figura 63), sabe-se que nos meses de julho e agosto é o período que ocorre a maior procura por arrefecimento, e a menor procurar por aquecimento. Portanto, as *brise-soleils* serão dimensionadas para diminuir a entrada de luz solar na zona de vendas nos meses de julho e agosto.

Para saber o período durante o dia para o controle da incidência de luz solar, foi realizado renderizações de imagem da vista interior da zona de vendas, considerando apenas a luz solar para o dia 1 de agosto, pois é o período médio entre o mês de julho e agosto. As imagens estão representadas na Tabela 60.

Tabela 60 – Incidência de luz solar na zona de vendas no dia 1 de agosto.

Hora do dia	Luz solar
12:40	



15:00



18:00



Através das imagens na Tabela 60, é possível determinar que no período entre os meses de julho e agosto, a penetração da luz solar na zona de vendas começa às 12h40min, às 15h a incidência de luz é mais intensa na zona de vendas, e às 18h, já está quase anoitecendo, assim havendo uma penetração solar maior, mas com menor intensidade.

Portanto, não há necessidade de controlar a incidência de luz solar antes do meio dia, pois não há incidência de luz solar direta, como mostrado na Tabela 60, e comprovado pela simulação de análise de luz natural representada na Tabela 39, para o dimensionamento *das brise-soleils* horizontais e verticais, o foco foi controlar a incidência de luz solar no período próximos às 15h.

A análise da luz natural utilizando o modelo de resultado **Daylight Autonomy (sDA preview)**, também mostra através dos seus dados presentes na Figura 75, que a zona de vendas possui a necessidade de aumentar a incidência de luz natural, por possuir um sDA menor que 55%, sendo que ao mesmo tempo, a análise diz que se deve diminuir o excesso de luz solar que incide na zona de vendas, devido a valor de ASE ser maior que 10%. Assim, através dos resultados de iluminância presente na Tabela 39, no período da tarde o valor de iluminância próximo a fachada envidraçada é extremamente alto, e no fundo da zona de vendas há pouca iluminação natural. Desse modo, justificando a

necessidade de se utilizar proteções solares na fachada envidraçada no supermercado (Mais informações sobre a sDA e ASE, ver ANEXO 13).

### 3.12.3.1 *Brise-soleils horizontais*

Para o dimensionamento de *brise-soleils* horizontais são utilizados os ângulos  $\alpha$  e  $\gamma$ . O ângulo  $\alpha$  está relacionado com a distância da lamela referente a parede, e é sempre representado na vista de corte, já o ângulo  $\gamma$  é relativo ao comprimento adicional da proteção solar, comparado com o comprimento da abertura (janela, fachada), que se quer controlar a incidência de luz solar, como ilustrado na Figura 82.

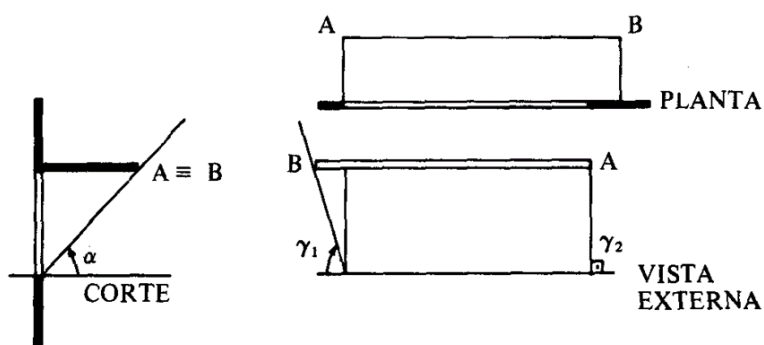
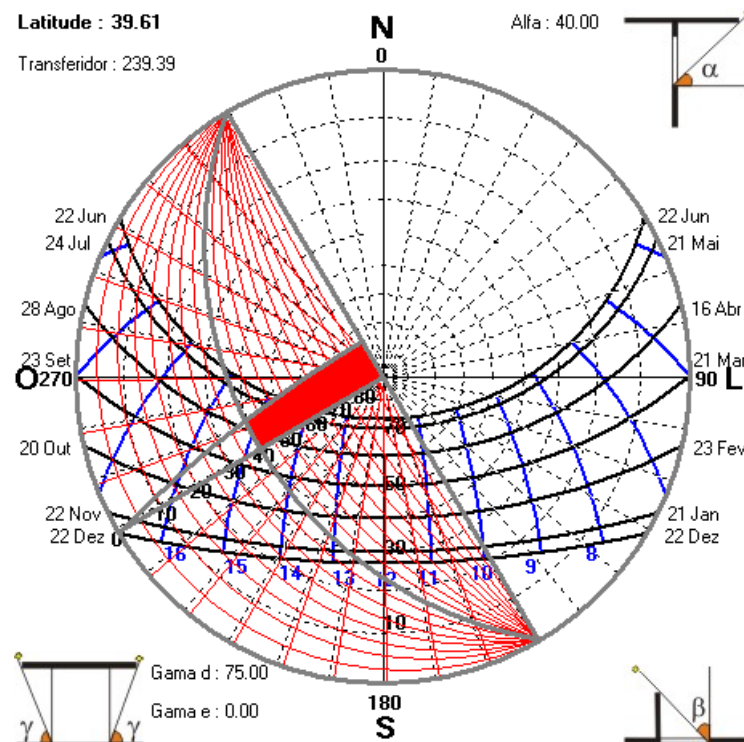


Figura 82 – Representação dos ângulos  $\alpha$  e  $\gamma$  no dimensionamento de *brise-soleils* horizontais.

O dimensionamento das *brise-soleils* horizontais possui a finalidade de controlar a incidência de luz solar entre os meses de julho e agosto, no período próximo às 15h, sendo que o ângulo de orientação da fachada do supermercado é igual a  $239,36^\circ$ , e a latitude igual a  $39,61^\circ$ . Assim, por meio do *software* SOL-AR, foi criado o diagrama solar com a máscara de sombra que tentasse cumprir com todas as considerações realizadas. O diagrama solar criado está ilustrado na Figura 83.



A máscara de sombra está representada pela cor vermelha no diagrama solar ilustrado na Figura 83, assim considerando as representações externas dos ângulos,  $\alpha$  é igual a  $40^\circ$ ,  $\gamma$  do lado esquerdo (gama d representa o ângulo da direta da fachada, portanto sendo o lado esquerdo do observador), olhando de frente para a fachada envidraçada, é igual a  $75^\circ$ , e o  $\gamma$  do lado do direito é igual a zero, devido a fachada da direção sudoeste terminar com a porta de entrada que possui fachada envidraçada, assim havendo uma prolongação dos elementos da *brise-soleils* iria atrapalhar o fluxo de entrada e saída do supermercado.

A representação do ângulo  $\alpha$  no modelo para simulação está ilustrada na Figura 84.

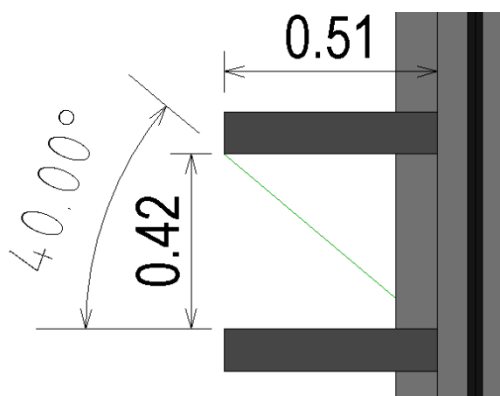


Figura 84 - Representação do ângulo  $\alpha$  em graus, e as dimensões da *brise-soleils* horizontais em metros, no modelo Revit®.

A Figura 85 mostra a representação do ângulo  $\gamma$  no modelo para simulação.

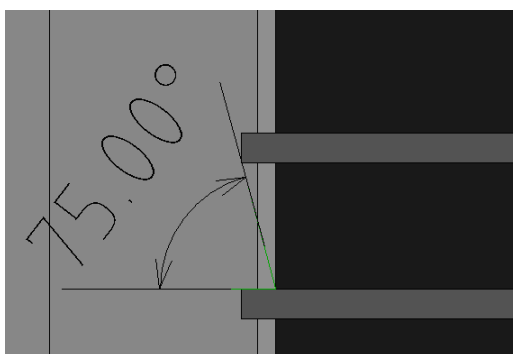


Figura 85 - Representação do ângulo  $\gamma$  no modelo Revit®.

A vista exterior do supermercado com as *brise-soleils* horizontais está ilustrada na Figura 86.

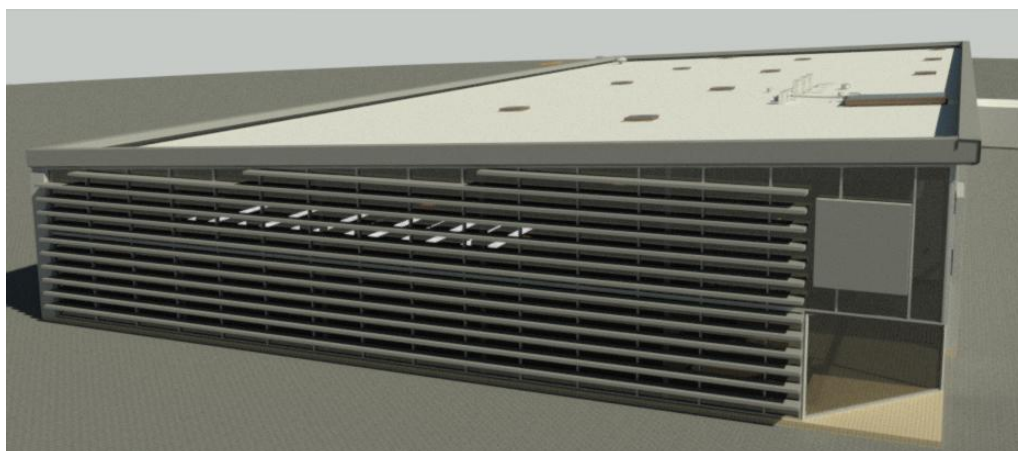


Figura 86 - Vista exterior do supermercado com as *brise-soleils* horizontais.

Com a modelagem das *brise-soleils* horizontais na fachada envidraçada, o modelo de energia passou a desconsiderar a área entre a fachada e o ambiente externo, a largura desta área desconsiderada está representada pela linha vermelha na Figura 87. Assim, foram feitas mudanças no tamanho da malha (tamanho do espaço e superfície analítica), mas as mudanças interferem em outras partes do modelo, pode-se notar que se diminuir o tamanho da malha, a zona de vendas passa ser considerada pelo modelo de energia sendo três ambientes, assim triplicando o número de ocupantes, e os valores de iluminação e equipamentos elétricos, e o aumento do tamanho da malha, faz com que o modelo de energia deixe de considerar praticamente todos os ambiente do nível 1. Portanto, nenhuma destas modificações podem ser consideradas, pois alteram o modelo de energia de tal forma que não permite realizar comparações do impacto das *brise-soleils* horizontais.

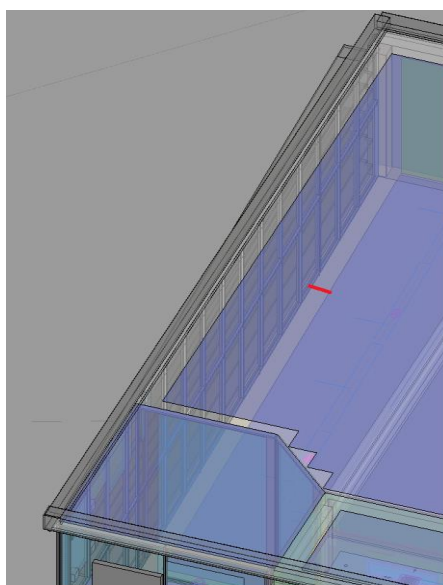


Figura 87 - Erro no modelo de energia com a modelagem das *brise-soleils* horizontais.

Uma possibilidade encontrada para resolver o problema com o modelo de energia foi realizar a modelagem das *brise-soleils* horizontais como volume conceptual, e mudar o modelo de “elementos de construção” para “volumes conceptuais e elementos de construção”, na configuração de energia do Revit®, assim não havendo problema com o modelo de energia em modificar as propriedades dos ambientes e do edifício.



Entretanto, devido a abordagem do modelo na configuração de energia, os consumos energéticos do edifício possuem valores diferentes da simulação em condições reais, mas que se mantém constantes em relação aos sistemas de climatização e de equipamentos diversos com as *brise-soleils* modeladas ou não, com isso permitindo calcular a percentagem de redução do custo com energia elétrica com a aplicação das *brise-soleils* horizontais.



Para realizar uma análise qualitativa sobre o impacto da utilização das *brise-soleils* horizontais, foram renderizadas vistas internas da zona de vendas, as quais estão presentes nas Tabela 61 e Tabela 62.

Para as renderizações da Tabela 61 foi considerando o dia 1 de agosto, às 15h.



Tabela 61 - Imagens renderizadas da zona de vendas antes e depois da aplicação das *brise-soleils* horizontais às 15h no dia 1 de agosto.

Cenário	Luz solar
Em condições reais no dia 1 de agosto às 15h	
Com aplicação das <i>brise-soleils</i> horizontais no dia 1 de agosto às 15h	

Como pode ser observado na Tabela 61, as *brise-soleils* horizontais bloquearam quase que totalmente a incidência de luz solar direta na zona de vendas, mais precisamente na área dos caixas, mas permitindo a entrada de luz difusa.

Para as renderizações da Tabela 62 foi considerado o dia 1 de agosto, às 18h.

Tabela 62 - Imagens renderizadas da zona de vendas antes e depois da aplicação das *brise-soleils* horizontais às 18h no dia 1 de agosto.

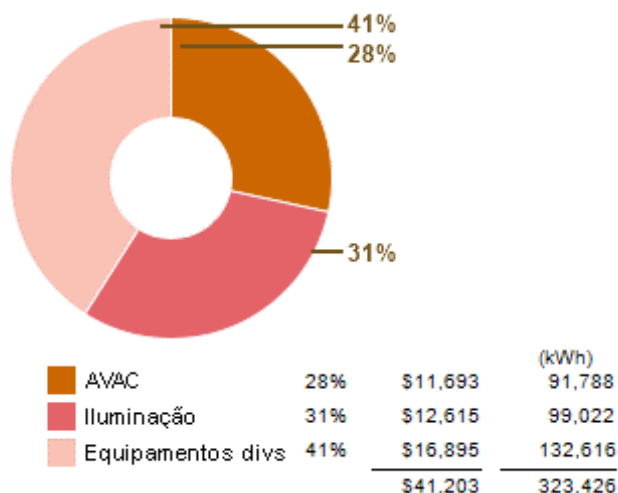
Cenário	Luz solar
<p>Em condições reais no dia 1 de agosto às 18h</p>	
<p>Com aplicação das <i>brise-soleils</i> horizontais no dia 1 de agosto às 18h</p>	

Com base nas imagens renderizadas na Tabela 62, é possível observar que as *brise-soleils* bloquearam parcialmente a incidência de luz solar direta na zona de vendas, assim aproveitando a luz natural do final da tarde para que o ambiente não fique muito escuro, e com isso podendo economizar a energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação. Portanto, com a diminuição da incidência de luz solar direta na zona de vendas, é possível economizar a energia elétrica consumida pelo sistema de climatização.

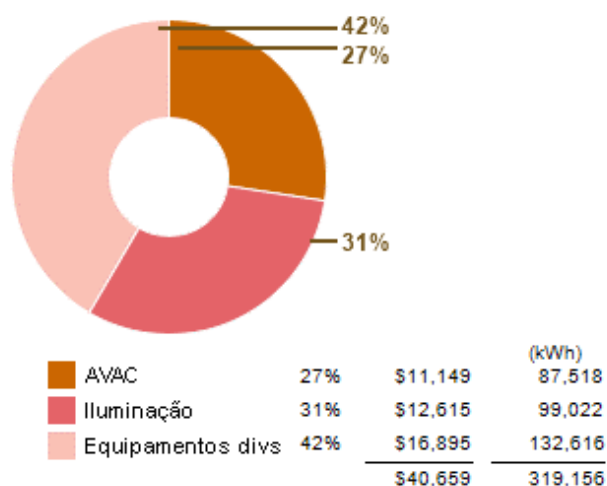
Os consumos e custos elétricos calculados na simulação em condições reais, considerando “volumes conceituais e elementos de construção” e com as *brise-soleils*, estão representados na Tabela 63.

Tabela 63 - Consumos e custos anuais de eletricidade da simulação em condições reais considerando “volumes conceptuais e elementos de construção” e com as *brise-soleils* horizontais.

Simulação em condições reais – modelo de volumes conceptuais e elementos de construção



Medida 1 – *brise-soleils* horizontais



Como comentado no começo desta secção, por complicações com a criação do modelo de energia utilizando o modelo de configuração de energia, “elementos de construção”, com a modelagem das *brise-soleils*, os valores dos consumos energéticos aqui considerados em condições reais estão diferentes do restante dos valores simulados neste trabalho, devido a utilização do modelo “volumes conceptuais e elementos de construção”.

Com a aplicação das *brise-soleils* horizontais, houve uma redução no consumo de energia elétrica devido a diminuição do ganho solar através dos raios solares que incidiam diretamente sobre a fachada envidraçada, com isso houve a diminuição na carga de arrefecimento de aproximadamente **4,65%**  $((91.788,00 - 87.518,00)/91.788,00 * 100 = 4,65)$ , o que representa uma redução dos custos energéticos de **544 €/ano**. Considerou-se que a redução de 4,65% no consumo de



energia é proporcional entre os modelos de “elementos de construção” e “volumes conceptuais e elementos de construção”, assim para o modelo de “elementos de construção” houve uma redução no consumo elétrico de 5.898,20 kWh/ano, que representa uma redução dos custos energéticos de 751,40 €/ano.

Entretanto, para aplicar esta medida é necessário a realização um estudo luminotécnico para analisar quanto de luz natural as *brise-soleils* horizontais bloqueiam e deixam incidir na zona de vendas durante o dia. Assim, este possível estudo pode ser realizado em trabalhos futuros.

### 3.12.3.2 *Brise-soleils verticais (palas verticais)*

Para o dimensionamento de *brise-soleils* verticais é utilizado somente o ângulo  $\beta$ , como representado na vista de planta de um modelo qualquer de *brise-soleils* verticais na Figura 88.

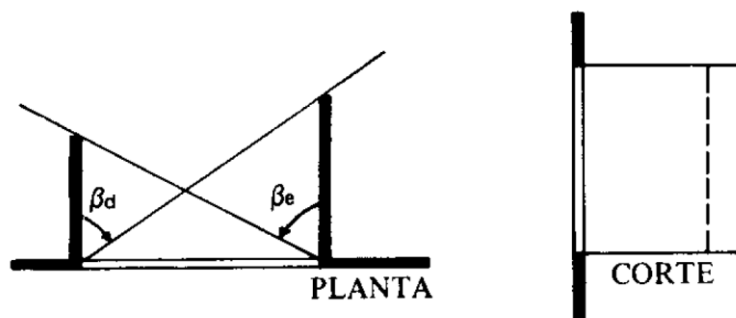


Figura 88 - Representação do ângulo  $\beta$  no dimensionamento das *brise-soleils* verticais [143, p. 101].

Através da máscara de sombra para o dimensionamento da *brise-soleils* verticais perpendiculares a fachada, nota-se que as lamelas verticais não são eficientes devido a limitação no dimensionamento da máscara de sombra. Portanto, para exemplificar este problema foi criado dois diagramas solares genéricos, o primeiro diagrama solar, representa *brise-soleils* verticais que possuem um comprimento pequeno (distância da parede até o final da lamela), assim tendo um valor para o ângulo  $\beta$  grande, como representado na Figura 89, com  $\beta$  igual a  $70^\circ$ .

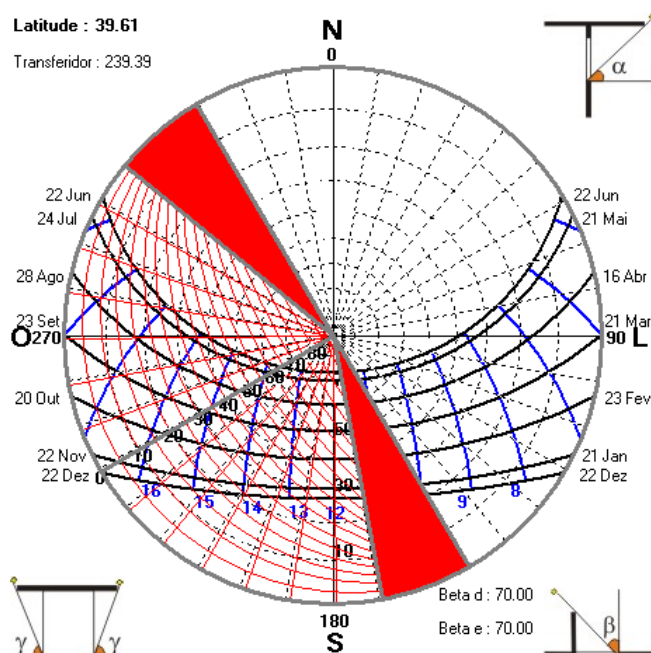


Figura 89 - Máscara de sombra para *brise-soleils* verticais com  $\beta$  igual a 70°.

Nota-se pelo diagrama solar da Figura 89, que a máscara de sombra (área com cor vermelha), possui a sua área de atuação distante da região que se localiza o horário das 15h nos meses de julho e agosto. Portanto, foi criado outro diagrama solar com um ângulo  $\beta$  pequeno, para tentar levar a máscara de sombra até a região de interesse, como representado na Figura 90, com ângulo  $\beta$  igual a 20°.

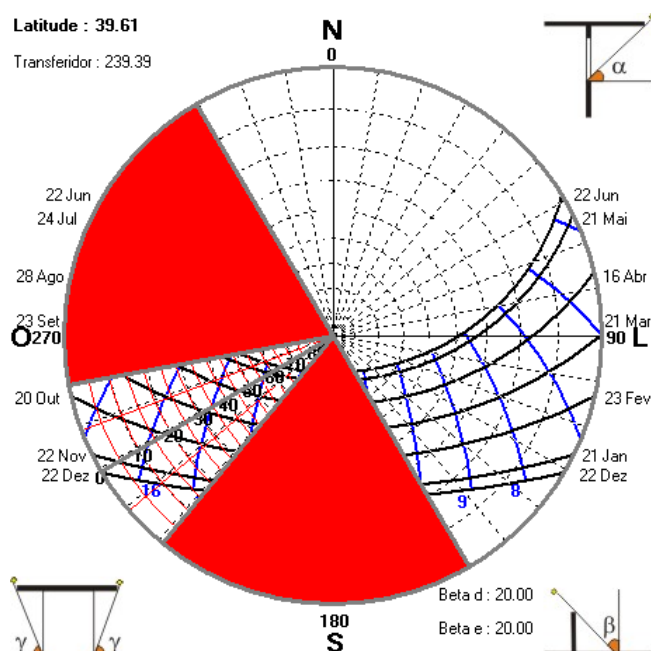


Figura 90 - Máscara de sombra para *brise-soleils* verticais com  $\beta$  igual a 20°.

Portanto, se utilizar um ângulo  $\beta$  menor que o representado na Figura 90 para atingir a região que corresponde às 15h entre os meses de julho e agosto, a máscara de sombra irá comprimir totalmente a área do transferidor de ângulo, com isso uma *brise-soleils* vertical com um ângulo  $\beta$  pequeno, irá bloquear totalmente a incidência de luz solar na zona de vendas, e não é esse o objetivo, pois tem-se interesse de aproveitar a luz solar no final da tarde. Então, neste caso é necessário realizar o dimensionamento de *brise-soleils* verticais com um ângulo de inclinação em relação a fachada.

O dimensionamento das *brise-soleils* verticais possui uma finalidade diferente da medida anterior com elementos horizontais, pois agora se tem interesse de permitir a incidência parcial de luz direta durante o dia todo. Assim, os elementos verticais, possuem uma inclinação de  $30^\circ$ , com comprimento de 0,5 m, e a distância entre os elementos verticais é igual a 0,35 m, como ilustrado na Figura 91.

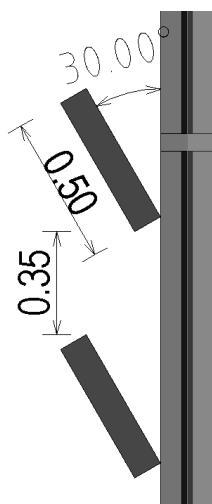


Figura 91 - Dimensões das *brise-soleils* verticais.

A vista exterior do supermercado com as *brise-soleils* verticais está ilustrada na Figura 92.

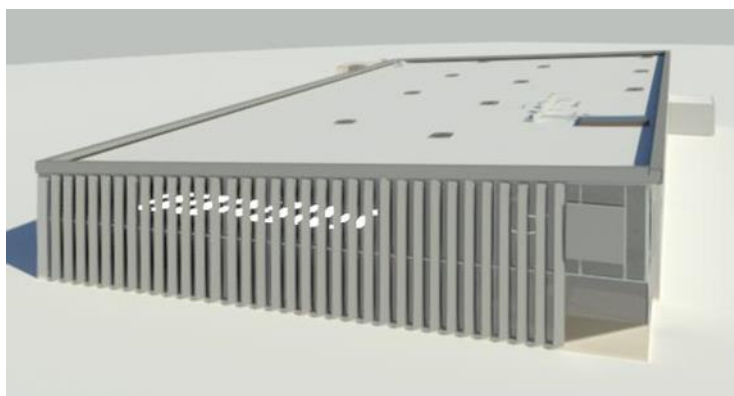




Figura 92 - Vista exterior do supermercado com as *brise-soleils* verticais.

Portanto, para perceber o impacto das *brise-soleils* verticais foram renderizadas imagens considerando apenas a luz solar no ambiente. Na Tabela 64, as imagens foram renderizadas considerando o dia 1 de agosto, às 15h.



Tabela 64 - Imagens renderizadas da zona de vendas antes e depois da aplicação das *brise-soleils* verticais às 15h no dia 1 de agosto.

Cenário	Luz solar
Em condições reais no dia 1 de agosto às 15h	
Com aplicação das <i>brise-soleils</i> verticais no dia 1 de agosto às 15h	

As *brise-soleils* verticais bloqueiam parcialmente a incidência de luz solar direta na zona de vendas, assim fazendo áreas de sombras intercaladas com áreas que recebem a luz solar direta. Uma boa configuração para elementos verticais seria a possibilidade de permitir a entrada de luz difusa, assim deixando o ambiente agradável e havendo a possibilidade de redução no consumo elétrico pelo sistema de iluminação.

Na Tabela 65, as imagens foram renderizadas considerando o dia 1 de agosto, às 18h.

Tabela 65 - Imagens renderizadas da zona de vendas antes e depois da aplicação das *brise-soleils* verticais às 18h no dia 1 de agosto.

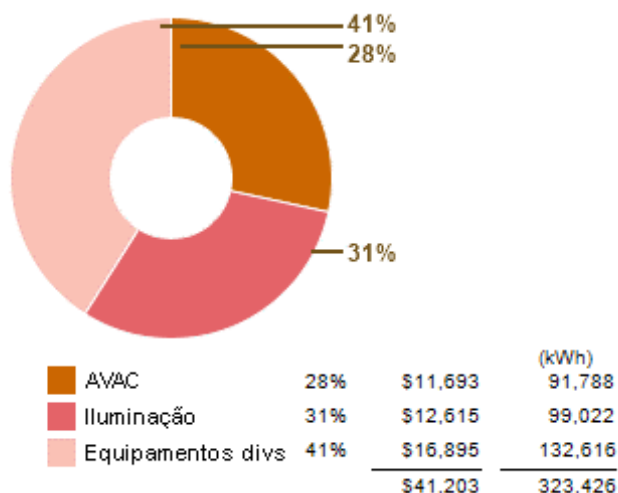
Cenário	Luz solar
Em condições reais no dia 1 de agosto às 18h	
Com aplicação das <i>brise-soleils</i> verticais no dia 1 de agosto às 18h	

No final do dia, a *brise-soleils* verticais permitem mais a incidência de luz solar na zona de vendas em relação as *brise-soleils* horizontais (ver Tabela 62), assim permitindo aproveitar melhor a luz solar e possibilitando uma redução nos custos energéticos com o sistema de iluminação artificial, mas esta geometria definida para os elementos verticais precisa ser melhorada, para aumentar o conforto das pessoas que trabalham no caixa, pois pode ser visto na Tabela 64, que há um parcela de luz solar direta incidindo na área dos caixas.

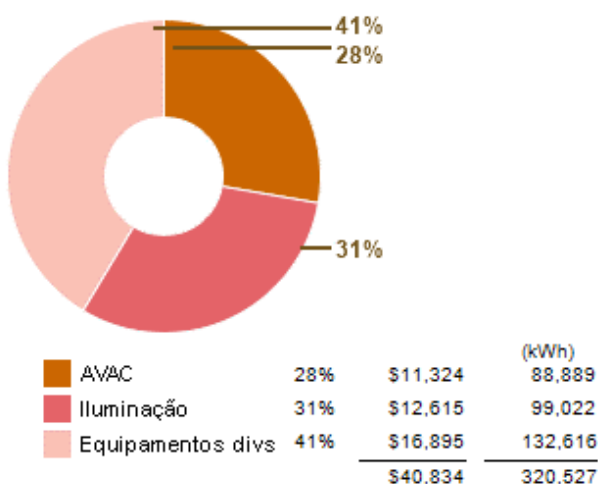
Os consumos e custos de energia elétrica simulados no Revit®, foram realizados considerando as modificações no modelo de configuração de energia, assim os valores representados na Tabela 66 são diferentes das demais medidas de melhoria e da simulação em condições reais presente neste trabalho. Assim, os consumos e custos anuais simulados estão representados na Tabela 66.

Tabela 66 - Consumos e custos anuais de eletricidade da simulação em condições reais considerando “volumes conceptuais e elementos de construção” e com as *brise-soleils* verticais.

Simulação em condições reais – modelo de volumes conceptuais e elementos de construção



Medida 2 – *brise-soleils* verticais



Com a aplicação das *brise-soleils* verticais houve **uma redução no consumo de energia elétrica de aproximadamente 3,16%**  $((91.788-88.889,00)/91.788,00*100)$  devido a **diminuição do ganho de calor solar na zona de vendas, através da fachada envidraçada, o que resultou na diminuição da necessidade de arrefecimento, o que representa uma redução dos custos energéticos de 369 €/ano.**

Considerou-se que a redução de 3,16% no consumo de energia é proporcional entre os modelos de “elementos de construção” e “volume conceptual e elementos de construção”, assim para o modelo de “elementos de construção” **houve uma redução de 4.008,24 kWh/ano, que corresponde a uma redução dos custos energéticos de 510,65 €/ano.**



### 3.12.3.3 Resumo dos resultados das *brise-soleils* verticais e horizontais

Para facilitar a comparação do desempenho entre as *brise-soleils* verticais e horizontais, a quantidade de energia que pode ser poupada e a sua respetiva redução dos custos energéticos relacionados aos sistemas de climatização estão representadas na Tabela 67, lembrando que a simulação dinâmica para as *brise-soleils* verticais e horizontais utilizaram o modelo “volumes conceptuais e elementos construtivos”, assim, apesar dos dados de entrada serem os mesmos, há uma considerável variação dos resultados.

Tabela 67 – Comparação entre as *brise-soleils* horizontais e verticais.

Modelo de <i>brise-soleils</i>	Poupança energética global (kWh/ano)	Redução do custo energético (€/ano)
<i>brise-soleils</i> horizontais	5.898,20	751,40
<i>brise-soleils</i> verticais	4.008,24	510,65

Entre os dois modelos de *brise-soleils*, o modelo horizontal possui uma eficiência melhor em janela ou fachada envidraçadas voltadas para a direção sul, em comparação com *brise-soleils* verticais, devido a dificuldade de definir a máscara de sombra na região de interesse. Assim, para superar esta limitação das *brise-soleils* verticais, é preciso considerar no dimensionamento uma certa inclinação dos elementos verticais, e também uma distância maior entre eles, mas resultando numa possível incidência de luz solar direta em determinados horários.

Entretanto, para determinar com eficácia os desempenhos das proteções solares propostas na fachada envidraçada voltada à direção sudoeste, em relação ao controle da incidência da luz natural, é necessário se realizar um estudo luminotécnico.

### 3.12.4 Alteração das temperaturas de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização (*setpoint*)

O objetivo desta secção é alterar as temperaturas de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização presentes no supermercado, para que se possa encontrar valores de temperaturas que resultem na diminuição dos consumos elétricos significativos, devido a diminuição da necessidade de aquecimento e arrefecimento do supermercado, sem causar um desconforto térmico para os ocupantes, pois a mudança da temperatura configurada não precisa de nenhum investimento, e é de fácil implementação.

Nos meses de novembro a março, a temperatura média mínima e máxima mensal da região que está localizado o supermercado, estão abaixo dos 20°C, como mostrado na Figura 61, portanto as pessoas que saem de suas casas ou do trabalho para ir ao supermercado, já estão usando roupas apropriadas para temperaturas mais baixas, desta forma, a diminuição de 2°C na temperatura da área de vendas, não necessariamente representa uma diminuição no conforto térmico para os ocupantes desta área. E a maioria dos ocupantes, que são os clientes, ficam em constante movimento na zona de vendas, e os funcionários dos caixas podem se adaptarem usando roupas apropriadas.

Assim, as configurações de temperatura propostas estão representadas na Tabela 68.

Tabela 68 - Valores de temperatura de aquecimento e arrefecimento propostos para os sistemas de climatização.

Cenários	Temperatura de aquecimento (°C)	Temperatura de arrefecimento (°C)
Condições reais	20	25
Medida 1 (somente na zona de vendas)	18	25
Medida 2	18	25
Medida 3	22,5	25
Medida 4	25	25
Medida 5	20	20
Medida 6	20	22,5
Medida 7	20	27
Medida 8	22,5	22,5

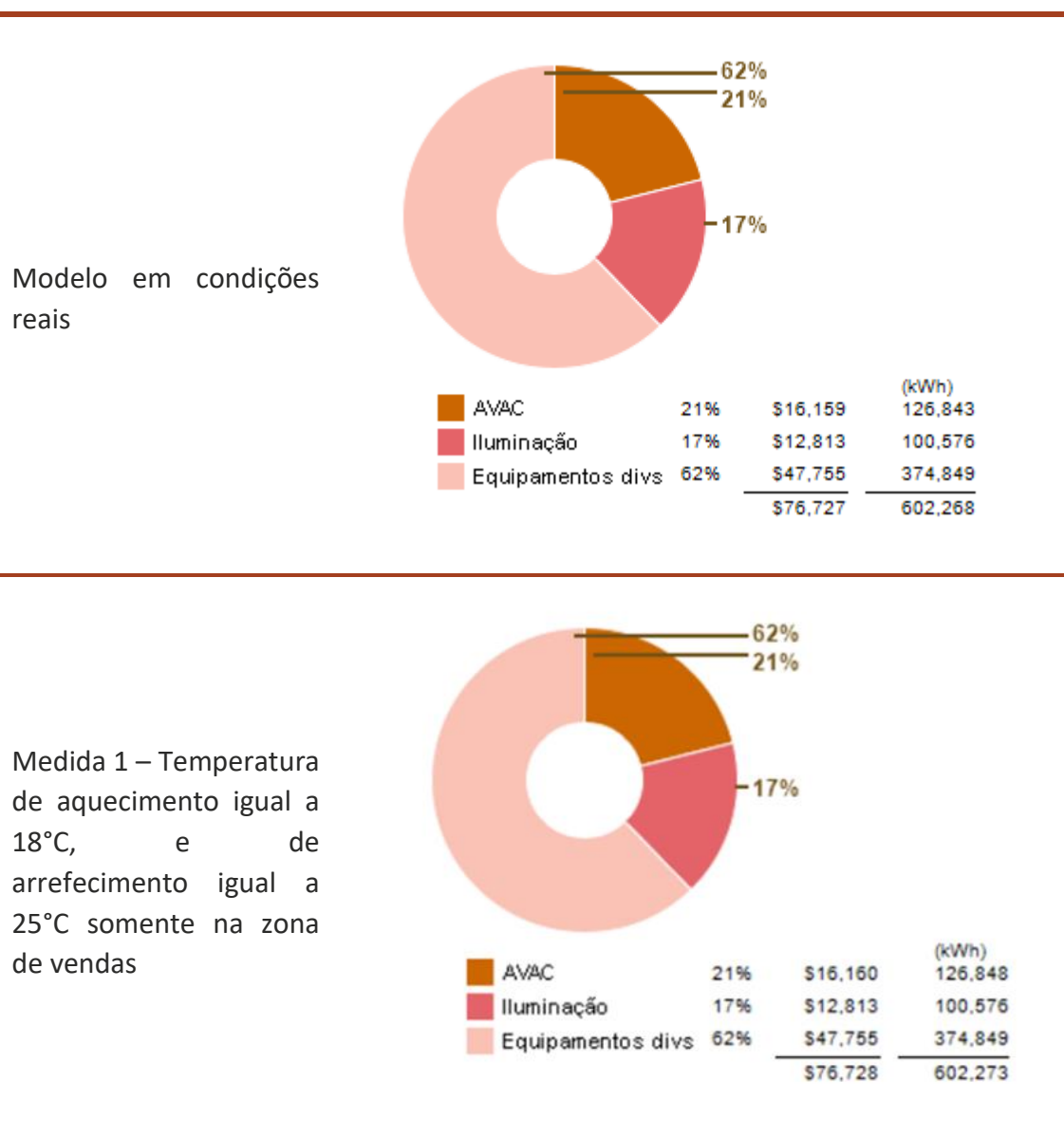
#### *3.12.4.1 Medida 1 – Temperatura de aquecimento igual a 18°C, e de arrefecimento igual a 25°C somente na zona de vendas*

Esta medida propõe a mudança da temperatura de aquecimento para 18°C, com o objetivo de diminuir a necessidade de arrefecimento, sendo aplicada somente na zona de vendas, devido a área de vendas ser a maior responsável pelas necessidades de aquecimento e arrefecimento do supermercado, e nos demais ambientes foi mantido a configuração utilizada no modelo aplicado nas condições reais de funcionamento do edifício, sendo 20°C para o aquecimento, e 25°C para o arrefecimento.

Portanto, o resultado do consumo elétrico do sistema de climatização simulado, com a temperatura de aquecimento igual a 18°C, e de arrefecimento mantida a 25°C, o gráfico do consumo elétrico desta medida, e do modelo em condições reais estão representados na Tabela 69.



Tabela 69 – Comparação entre a simulação em condições reais e a simulação da medida 1 referente a mudança da temperatura de aquecimento somente na zona de vendas



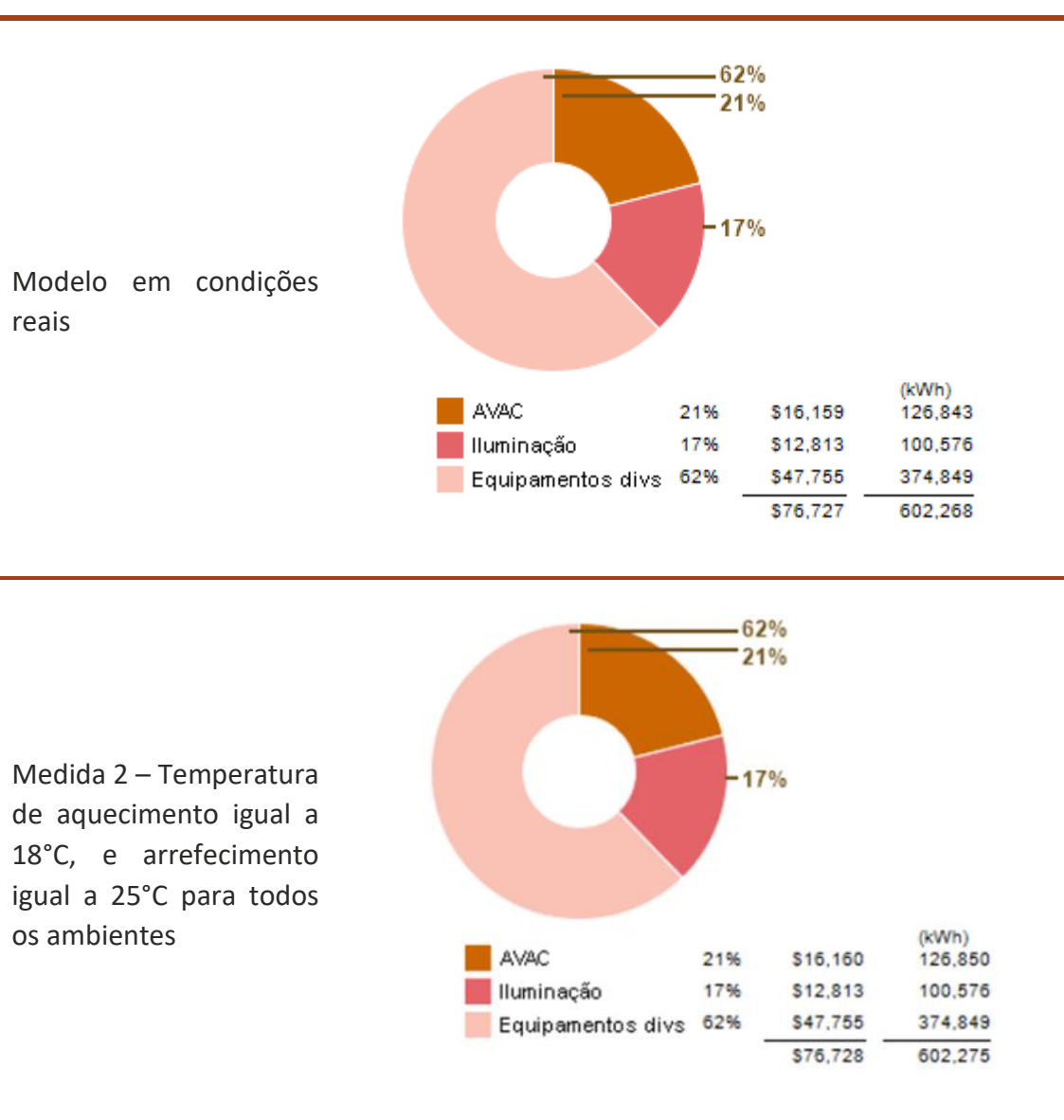
A medida 1 resultou num aumento do consumo energético do sistema de climatização igual a 5 kWh/ano, que representa um aumento no custo energético inferior a 1 €/ano em comparação ao custo simulado no modelo em condições reais, como pode ser visto na Tabela 69. Portanto, nesta medida não ocorre mudança significativa no consumo elétrico dos sistemas de climatização, assim sendo uma medida ineficaz.

### 3.12.4.2 Medida 2 – Temperatura de aquecimento igual a 18°C, e arrefecimento igual a 25°C para todos os ambientes

Os resultados obtidos através da simulação da medida 1, a qual considera somente a zona de vendas, mostraram que não houve variações no consumo elétrico dos sistemas de climatização, assim, a medida 2 propõe definir a temperatura de aquecimento de todos os ambientes, sendo igual a 18°C, mantendo a temperatura de arrefecimento igual a 25°C.

Os consumos elétricos anuais obtidos com a medida 2 e em condições reais estão representados na Tabela 70.

Tabela 70 - Comparação entre a simulação em condições reais e a simulação da medida 2 referente a mudança da temperatura de aquecimento igual a 18°C para todos os ambientes do supermercado



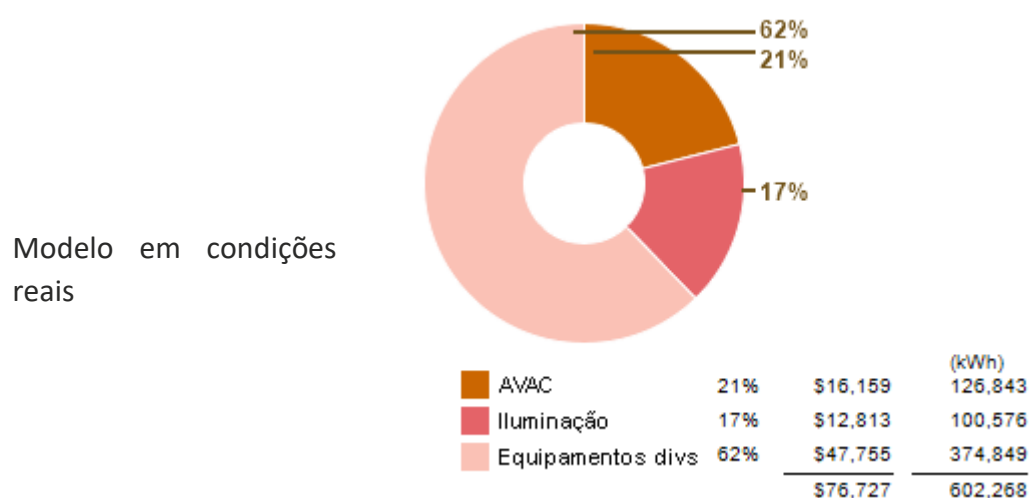
A medida 2 resultou num aumento no consumo elétrico referente ao sistema de climatização de 7kWh/ano, o que representa um aumento no custo energético inferior a 1 €/ano, como mostrado na comparação entre os gráficos presentes na Tabela 70. Porém, como na medida 1, na medida 2 não ocorre mudança significativa no consumo elétrico do supermercado, assim sendo também uma medida ineficaz.

#### 3.12.4.3 Medida 3 – Temperatura de aquecimento igual a 22,5°C e arrefecimento igual a 25°C para todos os ambientes

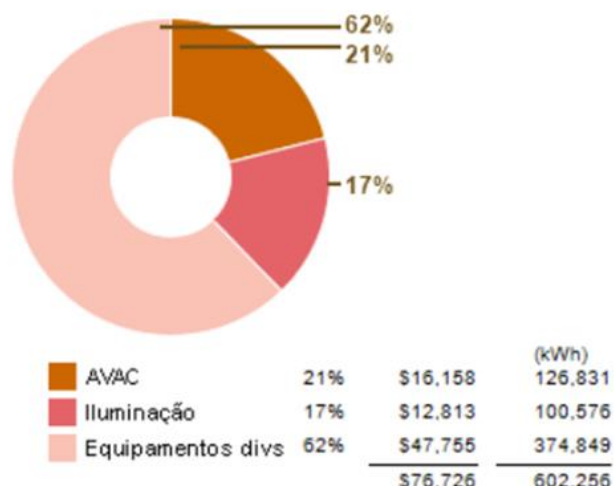
As medidas 1 e 2 propuseram a redução da temperatura de aquecimento, e resultaram numa poupança energética pequena, assim a medida 3 propõe aumentar a temperatura de aquecimento em 2,5°C, e mantendo a temperatura de arrefecimento igual a 25°C para todos os ambientes do supermercado.

O consumo elétrico anual referente a medida 3 e ao modelo em condições reais estão representados na Tabela 71.

Tabela 71 - Comparação entre a simulação em condições reais e a simulação da medida 3 referente a mudança das temperaturas de aquecimento e arrefecimento.



Medida 3 – Temperatura de aquecimento igual a 22,5°C e arrefecimento igual a 25°C para todos os ambientes



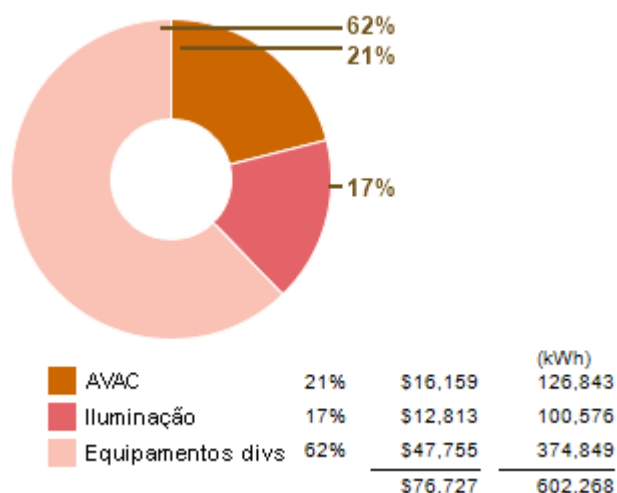
A medida 3, com aumento da temperatura de aquecimento, mostrou uma pequena **diminuição no consumo elétrico referente ao sistema de climatização de 12 kWh/ano, que representa uma diminuição do custo elétrico de aproximadamente 1,53 €/ano**, mas em relação a magnitude da quantidade de energia poupada é muito pequena, assim sendo, uma redução do consumo energético ao longo do ano sem variações significativas, como pode ser analisado através dos gráficos presentes na Tabela 71. **Portanto, a medida 3, não satisfaz o objetivo deste trabalho, que é de reduzir de maneira significativa o consumo energético do supermercado.**

#### 3.12.4.4 Medida 4 – Temperatura de aquecimento e arrefecimento iguais a 25°C para todos ambientes

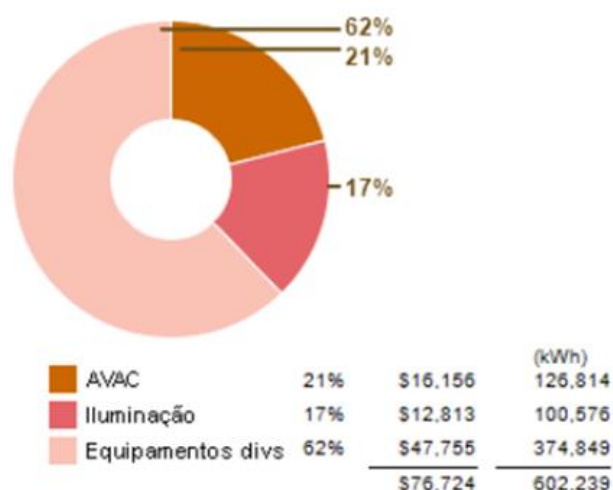
A medida 4 propõe definir o valor da temperatura de aquecimento igual a de arrefecimento, ou seja, igual a 25°C. Os consumos elétricos anuais da medida 4 e do modelo em condições reais estão representados na Tabela 72.

Tabela 72 - Comparação entre a simulação em condições reais e a simulação da medida 4 referente a mudança das temperaturas de aquecimento e arrefecimento.

Modelo em condições reais



Medida 4 – Temperatura de aquecimento e arrefecimento iguais a 25°C para todos ambientes

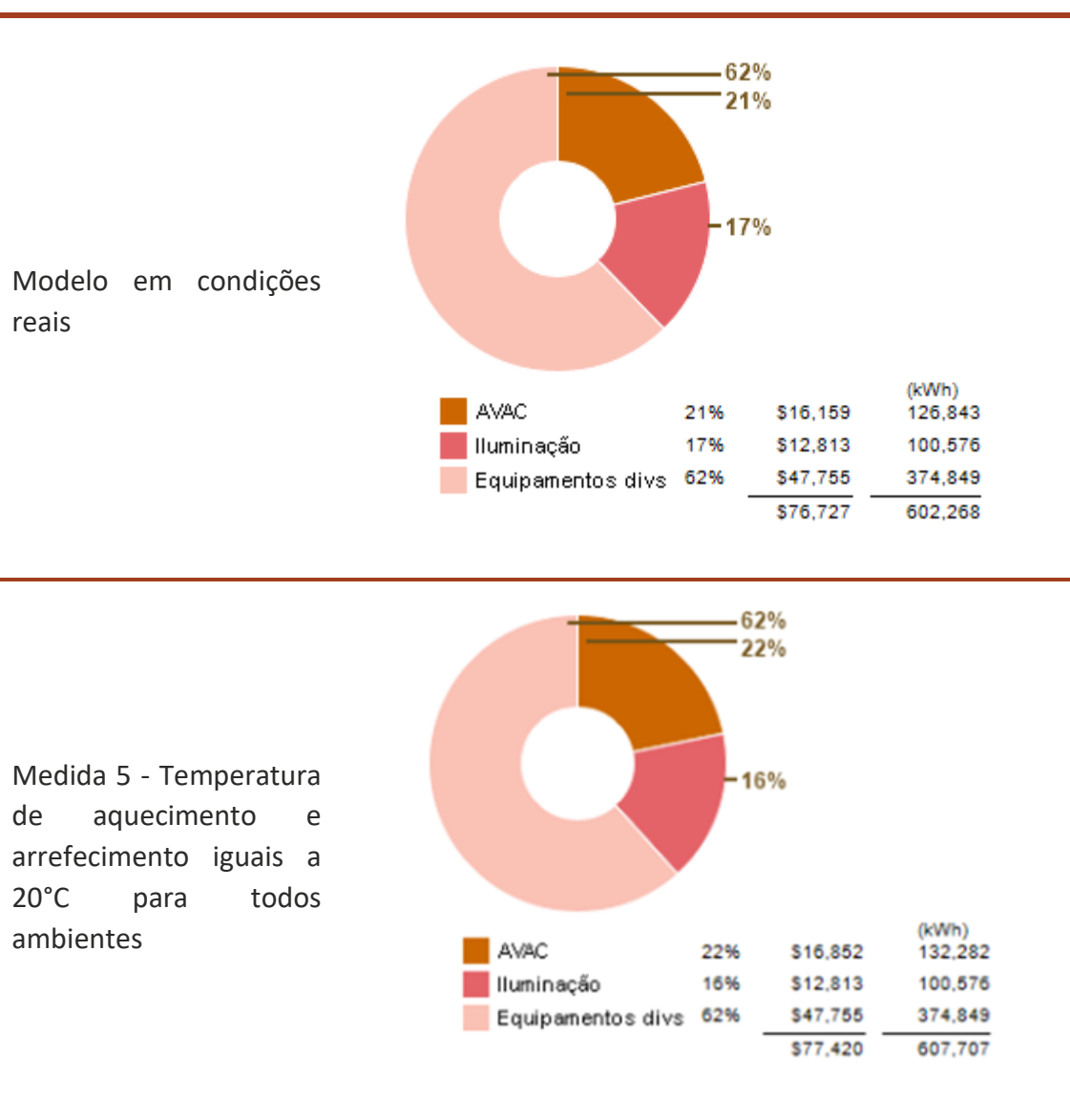


A medida 4 resultou numa diminuição do consumo elétrico do sistema de climatização de 29 kWh/ano, que representa uma diminuição no custo energético do supermercado de aproximadamente 3,70 €/ano, em comparação ao modelo simulado em condições reais. Assim, a medida 4 também não satisfaz o objetivo do trabalho de reduzir o consumo energético do edifício, pois a diminuição do consumo energético ao longo do ano não possuem variações significativas.

### 3.12.4.5 Medida 5 - Temperatura de aquecimento e arrefecimento iguais a 20°C para todos ambientes

Nas medidas 1 a 4, somente a temperatura de aquecimento era variada, assim a partir da medida 5, a temperatura de arrefecimento também variou. A medida 5 propõe utilizar as temperaturas de aquecimento e arrefecimento iguais a 20°C, assim o consumo elétrico anual obtido através da simulação dinâmica da medida 5 e da simulação em condições reais estão representados na Tabela 73.

Tabela 73 - Comparação entre a simulação em condições reais e a simulação da medida 5 referente a mudança das temperaturas de aquecimento e arrefecimento.



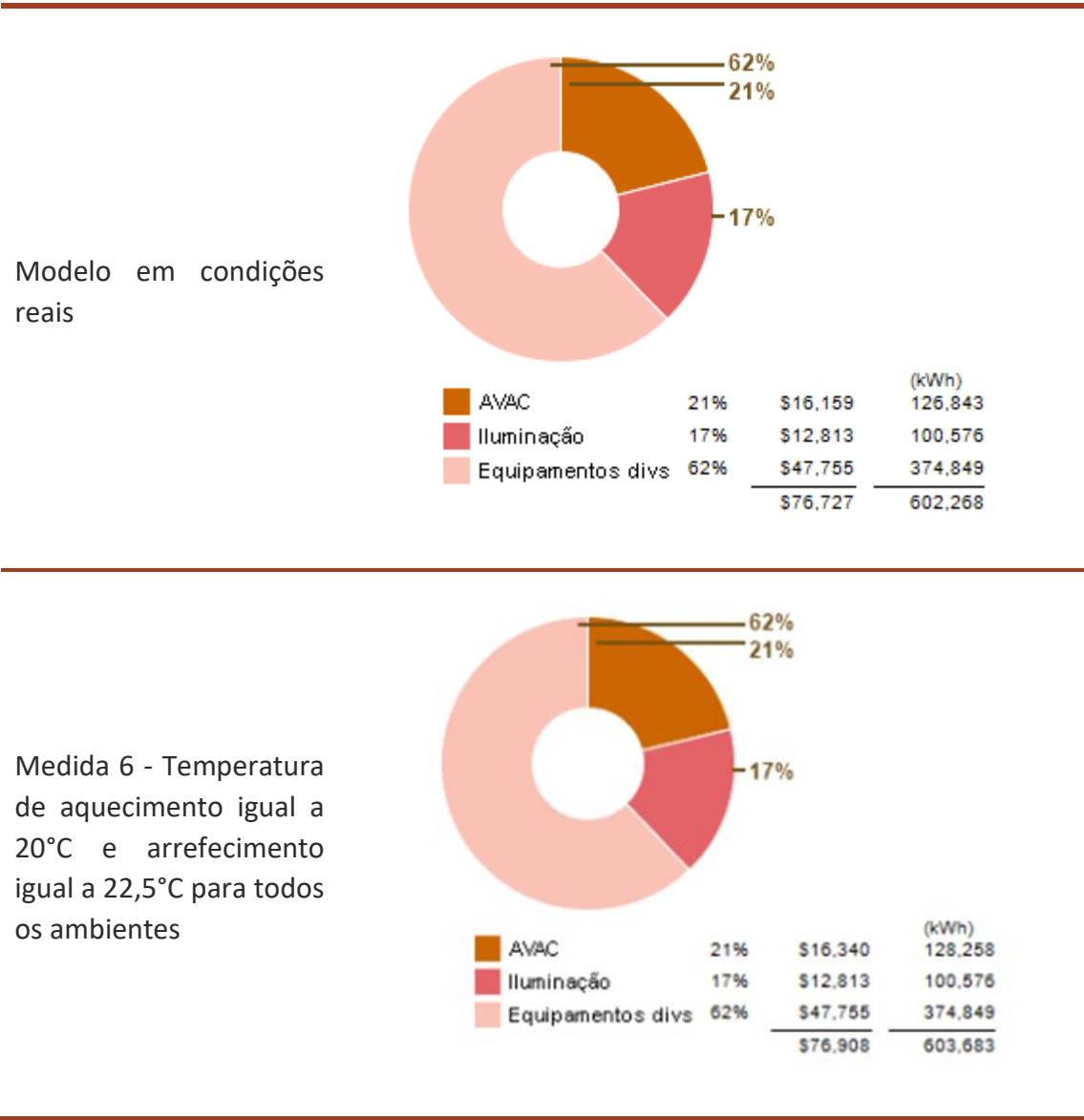
A simulação dinâmica da medida 5 apresentou um aumento no consumo energético de 5.439,00 kWh/ano, o que representa um aumento no custo energético de 693 €/ano, em comparação ao modelo em condições reais. Portanto, a medida 5 também

não contribui para a diminuição do consumo energético do supermercado, sendo assim uma medida ineficaz, e que agrava o consumo energético do supermercado.

3.12.4.6 Medida 6 - Temperatura de aquecimento igual a 20°C e arrefecimento igual a 22,5°C para todos os ambientes

A medida 6 propõe definir a temperatura de aquecimento para todos os ambientes do supermercado igual a 20°C, e a temperatura de arrefecimento igual a 22,5°C. Assim, os consumos elétricos obtidos da medida 6 e do modelo em condições reais estão representados na Tabela 74.

Tabela 74 - Comparação entre a simulação em condições reais e a simulação da medida 6 referente a mudança das temperaturas de aquecimento e arrefecimento.

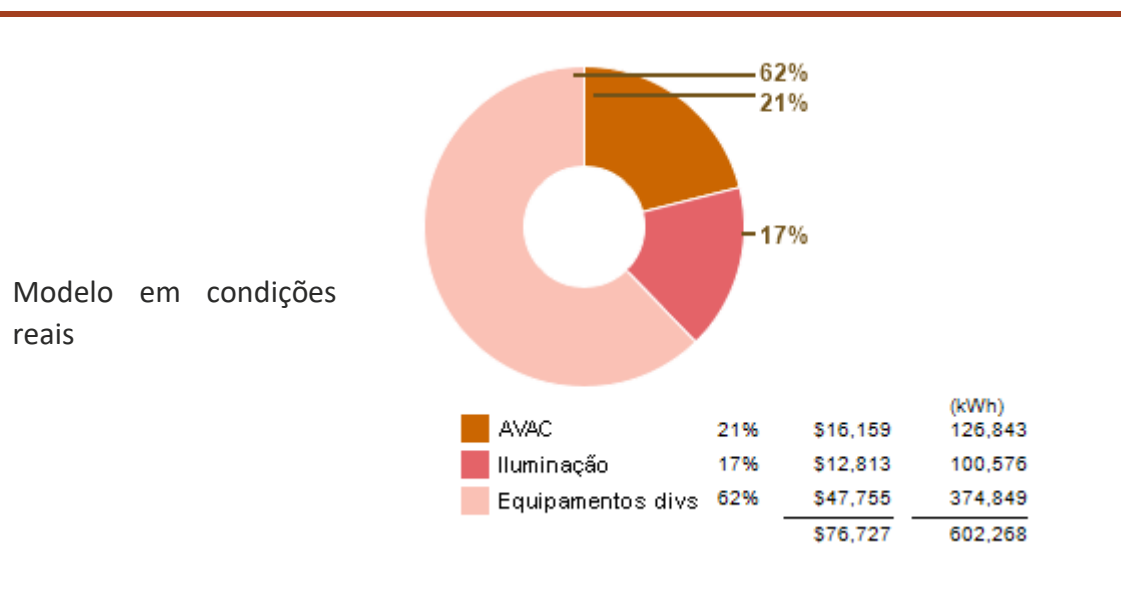


A simulação dinâmica da medida 6 **apresentou um aumento no consumo elétrico de 1.415,00 kWh/ano, que representa um aumento no custo energético de 181 €/ano**, em comparação ao modelo em condições reais. Assim, a medida 6 também não cumpre com o objetivo de diminuir os consumos energéticos do supermercado, pois resulta num aumento no consumo energético referente ao sistema de climatização.

#### 3.12.4.7 Medida 7 - Temperatura de aquecimento igual a 20°C e arrefecimento igual a 27°C para todos os ambientes

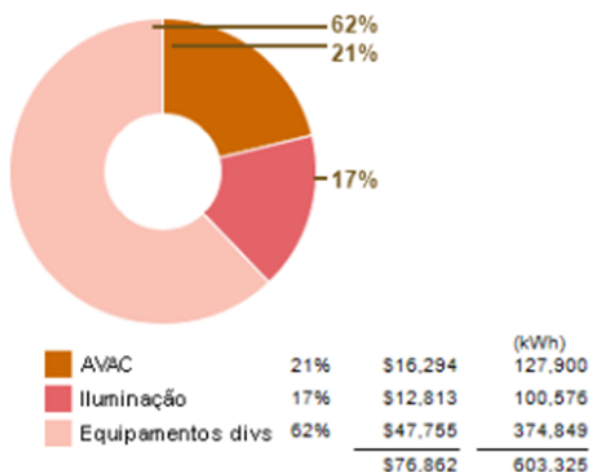
Sabe-se que a diminuição da temperatura de arrefecimento, resulta no aumento da procura da carga de arrefecimento, pois o sistema de climatização precisará retirar mais calor do ambiente do supermercado. Assim, a medida 7 propõe o aumento da temperatura de arrefecimento para 27°C, e manter a temperatura de aquecimento igual a 20°C. Os consumos elétricos anuais da medida 7 e do modelo em condições reais estão representados na Tabela 75.

Tabela 75 - Comparação entre a simulação em condições reais e a simulação da medida 7 referente a mudança das temperaturas de aquecimento e arrefecimento.





Medida 7 - Temperatura de aquecimento igual a 20°C e arrefecimento igual a 27°C para todos os ambientes



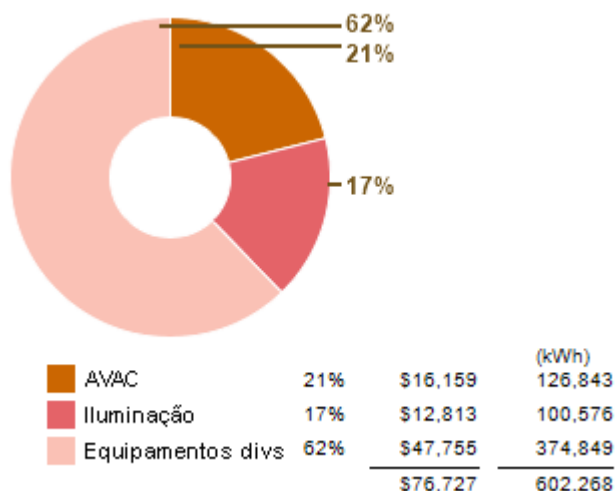
Mesmo com o aumento da temperatura de arrefecimento, com a intensão de diminuir a carga de arrefecimento, e consequentemente diminuir o consumo elétrico dos sistemas de climatização, a medida 7, **apresentou um aumento no consumo energético de 1.057,00 kWh/ano, que representa um aumento no custo energético do supermercado de 135 €/ano**, como pode ser analisado através dos gráficos presentes na Tabela 75. **Portanto a medida 7 também não satisfaz o objetivo proposto, além de não representar o comportamento real de um sistema de climatização, devido o aumento da carga de arrefecimento sem justificativa coerente, pois o coerente seria a sua diminuição.**

#### 3.12.4.8 Medida 8 - Temperatura de aquecimento e arrefecimento iguais a 22,5°C para todos ambientes

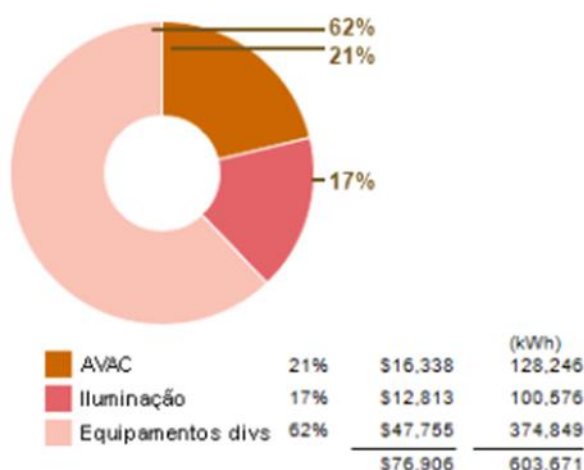
A medida 8 é a última medida que propõe alterações nas temperaturas de aquecimento e arrefecimento sendo iguais a 22,5°C, devido ser a temperatura média entre 20°C e 25°C. Os consumos elétricos da medida 8 e do modelo em condições reais estão representados na Tabela 76.

Tabela 76 - Comparação entre as simulações em condições reais e a da medida 8 referente as mudanças das temperaturas de aquecimento e arrefecimento iguais a 22,5°C.

Modelo em condições reais



Medida 8 - Temperatura de aquecimento e arrefecimento iguais a 22,5°C para todos ambientes



A medida 8 resultou num **aumento do consumo energético de 1.402 kWh/ano, que representa um aumento no custo energético de 179 €/ano.** Portanto, medida 8 também não satisfaz com o objetivo proposto, **assim sendo uma medida ineficaz.**

#### 3.12.4.9 Resumo das medidas referentes a variação da temperatura de aquecimento e de arrefecimento

Portanto, para facilitar a interpretação destes resultados obtidos com a variação das temperaturas de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização do supermercado, foi realizada uma comparação entre os valores dos consumos e custos elétricos anuais com os sistemas de climatização em condições reais e com as medidas

propostas nesta secção, que está descrita na Tabela 77, onde os valores positivos significam o aumento no consumo/custo energético, e os valores negativos, a diminuição do consumo/custo energético com os sistemas de climatização estão diretamente ligados na diminuição dos consumos de energia elétrica.

Devido as alterações das temperaturas de aquecimento e arrefecimento não influenciarem de maneira significativa e coerente em relação os consumos elétricos dos sistemas de climatização, as mesmas medidas foram simuladas no Trace® 700, e os resultados obtidos estão representados na Tabela 77.

Tabela 77 - Comparação entre os custos anuais de energia dos sistemas de climatização em condições reais e medidas propostas.

Cenários	Temp. de aque. (°C)	Temp. de arref. (°C)	Variação no consumo elétrico global Revit® (kWh/ano)	Variação do custo energético Revit® (€/ano)	Variação no consumo elétrico global Trace® 700 (kWh/ano)	Variação do custo energético Trace® 700 (€/ano)
Medida 1 (somente na zona de vendas)	18	25	+ 5,00	+ 0,65	- 99,00	- 12,62
Medida 2	18	25	+ 7,00	+ 0,91	- 148,00	- 18,85
Medida 3	22,5	25	- 12,00	- 1,53	+ 616,00	+ 78,50
Medida 4	25	25	- 29,00	- 3,70	+ 6.074,00	+ 773,85
Medida 5	20	20	+ 5.439,00	+ 693,00	+ 40.499,00	+ 5.159,69
Medida 6	20	22,5	+ 1.415,00	+ 181,00	+ 20.683,00	+ 2.635,01
Medida 7	20	27	+ 1.057,00	+ 135,00	- 16.295,00	- 2.076,00
Medida 8	22,5	22,5	+ 1.402,00	+ 179,00	+ 24.564,00	+ 3.129,45

A medida 1 e 2 propõem a diminuição da temperatura de aquecimento, o que resulta na diminuição da carga de aquecimento que seria maior se o sistema de climatização tivesse que aquecer o ambiente até os 20°C, mas as simulações dinâmicas realizadas no Revit® indicaram um pequeno aumento no consumo elétrico, que pode ser considerado insignificante, entretanto, as simulações realizadas no Trace® 700, mostraram resultados mais próximos da realidade, sendo uma diminuição do consumo elétrico devido a diminuição da carga de aquecimento. Assim, com base nos resultados do Trace® 700 a medida 1 e 2 permitem uma diminuição do consumo elétrico do supermercado.

A medida 3 propõe o aumento da temperatura de aquecimento para os ambientes do supermercado, assim aumentando a procura de aquecimento, o que resulta num aumento do consumo elétrico, mas o resultado obtido através do Revit®, mostrou a

situação oposta, uma diminuição no consumo elétrico, porém o resultado obtido através do Trace® 700, mostrou um aumento da carga de aquecimento, o que resulta no aumento do consumo elétrico. Assim, com base no resultado obtido pelo Trace® 700, a medida 3 é uma medida ineficaz.

A medida 4, semelhante a medida 3, propõe o aumento da temperatura de aquecimento de 20°C para 25°C, o que resulta numa maior carga de aquecimento para aquecer todos os ambientes até 25°C, porém o resultado obtido pelo Revit®, indicou uma pequena diminuição no consumo elétrico referente ao sistema de climatização, o que não pode ocorrer, já o resultado obtido pelo Trace® 700, mostrou um aumento significativo do consumo elétrico que representa com maior fidelidade o comportamento real do sistema de climatização. Portanto, com base no resultado do Trace® 700, a medida 4 resulta num aumento do consumo elétrico do supermercado, sendo assim, uma medida ineficaz.

A medida 5 e 6 propõem a diminuição da temperatura de arrefecimento dos ambientes do supermercado, o que resulta no aumento da procura por arrefecimento, para diminuir a temperatura ambiente que era definida 25°C para 20°C e 22,5°C respetivas as medidas. Nestes cenários, os resultados obtidos pelo Revit® mostraram um aumento no consumo elétrico, assim correspondendo com a realidade, entretanto, o aumento dos consumos elétricos obtidos pelo Trace® 700 foram maiores que os obtidos pelo Revit®. Portanto, as medidas 5 e 6 resultam no aumento dos consumos elétricos dos sistemas de climatização como se era esperado.

A medida 7 propõe o aumento da temperatura de arrefecimento de 25°C para 27°C, que representa uma diminuição da carga de arrefecimento, pois o sistema de climatização irá retirar uma quantidade de calor menor dos ambientes do supermercado, porém o resultado da simulação dinâmica do Revit® mostrou um aumento no consumo elétrico do sistema de climatização, assim não correspondendo com o comportamento de um sistema de climatização real, já que o resultado obtido pelo Trace® 700 mostra uma diminuição no consumo elétrico considerável.

Portanto, com base na simulação realizada pelo Trace® 700, a medida 7 representa uma boa medida de redução de consumo energético do supermercado, mas se considerar o aumento da energia consumida pelas arcas frigoríficas que iriam trabalhar mais para manter a temperatura dos produtos, já que a temperatura da zona de vendas estaria mais alta, podendo comprometer a qualidade dos produtos, como verduras e frutas. Assim, apesar da medida 7 resultar numa diminuição considerável do consumo elétrico poderia comprometer as mercadorias do supermercado, com isso não sendo indicada.

E por último, a medida 8 propõe o aumento da temperatura de aquecimento e na diminuição da temperatura de arrefecimento, assim a carga de aquecimento deve aumentar, e a carga de arrefecimento deve diminuir. Os resultados obtidos através do Revit® e do Trace® 700, mostraram um aumento no consumo elétrico dos sistemas de climatização, entretanto, o aumento do consumo elétrico obtido através Trace® 700

possui um valor significativamente maior que o do Revit®. De qualquer modo, a medida 8 também não resulta numa diminuição do consumo elétrico do supermercado.

Em comparação as alterações propostas da temperatura de aquecimento e arrefecimento, e os resultados obtidos, é possível perceber que os resultados do Revit® não corresponde com a realidade, como ocorre com os resultados obtidos através do Trace® 700. Entretanto, foram conferidos os dados de entrada dos sistemas de climatização declarados no Revit® com base nas informações e tutorias disponibilizadas pela Autodesk®, e não foi encontrado valores dos dados de entrada errados, que poderiam justificar esta divergência de resultados com Trace® 700.

Portanto, acredita-se que devido os equipamentos de ar-condicionado e ventilação serem informados no mesmo tipo de sistema de climatização padronizado pelo Revit® (presente no ANEXO 10), seja o limitante da sensibilidade do *software* em relação aos cálculos das cargas térmicas referente as variações das temperaturas de aquecimento e arrefecimento.

Portanto, com base nos resultados obtidos através do Trace® 700, as medidas 1,2 e 7, mostraram uma possibilidade de redução no consumo elétrico do supermercado, sendo que o a medida 7 não é recomendada devido o possível aumento dos consumos elétricos referentes as arcas frigoríficas, e diminuir a qualidade da conservação dos alimentos. E as demais medidas resultaram no aumento dos consumos energéticos do supermercado.

Propor variações maiores para as temperaturas de aquecimento e arrefecimento, poderão prejudicar o conforto térmico dos ocupantes do supermercado, assim não foram propostas outras medidas com maiores variações de temperatura.

**Então, as temperaturas definidas nas medidas 1 e 2 proporcionaram pequenas reduções no consumo elétrico do supermercado, mas caso seja percebido algum desconforto pelos ocupantes, a temperatura definida no modelo em condições reais, que é igual a utilizada na realidade, sendo a temperatura de aquecimento igual a 20°C, e a de arrefecimento igual a 25°C, não resultariam em aumentos significativos no consumo elétrico do supermercado ao longo do ano.**

### 3.12.5 Melhorias no sistema de iluminação

Apesar do sistema de iluminação ser o setor que menos consome energia elétrica, ele pode ser otimizado com algumas estratégias de *daylighting* passivas e/ou ativas, sendo algumas medidas passivas: a instalação de tubos solares, claraboias, aumento do número de janelas ou das suas dimensões. E algumas medidas ativas, são: a instalação de sensores de presença ou sensores de luz que regulam o fluxo luminoso das luminárias, *brise-soleils* móveis, que mudam a sua geometria conforme a entrada de

luz natural desejada. Assim podendo haver um aumento na eficiência da iluminação natural.

Em relação as medidas propostas de otimização energética para o sistema de iluminação, a primeira etapa foi realizar um levantamento sobre os tipos de lâmpadas presentes no supermercado, e foi constatado que todas as luminárias utilizam lâmpadas LEDs, como apresentado na Tabela 23, pois lâmpadas LEDs são mais eficientes que os demais tipos de lâmpada.

Portanto, depois da confirmação que todas as lâmpadas eram de LED, as medidas de otimização energética foram direcionadas para a gestão da utilização dos sistemas de iluminação, com a finalidade de diminuir o período de funcionamento das luminárias, assim foi proposto uma **medida passiva, relacionada a instalação de tubos solares, e uma medida ativa, relacionada a instalação de sensores de presença em alguns ambientes.**

**Não foi proposto o aumento do número de claraboias por possuir algumas desvantagens, como transmissão de calor para o ambiente, e baixo rendimento de iluminação comparado com os tubos solares,** como já foi comentado na **secção 2.8.3 Tubos solares.** A luz solar que passa pelas claraboias não é guiada, assim havendo muitas perdas de iluminação, pois os raios solares na maioria dos casos incidem nas paredes do teto que fixa a claraboia, e a limitação em relação a dependência da altura solar, o que limita a capacidade de iluminação das claraboias. Situações superadas pelo tubo solar, já que ele quase não permite a transmissão de calor para o ambiente, e devido a sua cúpula, ele consegue captar mais luz solar durante o dia, e direcioná-la de maneira eficiente de modo que haja uma boa iluminação do ambiente.

Entretanto, antes de entrar no mérito das medidas de otimização energética, é interessante esclarecer algumas características principais que envolvem a área de iluminação, como **fluxo luminoso** e **iluminância**. Segundo N. R. [131, p. 18], o **fluxo luminoso** pode ser definido sendo a quantidade de radiação emitida em todas as direções por unidade de tempo, assim representando a potência luminosa de uma lâmpada, e a sua unidade é o lúmen (lm). E segundo S. M. L. Zeilmann [132, p. 54], a **iluminância** pode ser definida sendo um parâmetro que determina a quantidade de luz que incide num ambiente, ou seja, a **iluminância** é a medida do fluxo luminoso que atinge uma superfície por unidade de área, e sua unidade é o lux. Outros parâmetros luminotécnicos considerados importantes para a realização de estudos luminotécnicos estão explicados no ANEXO 9.

#### *3.12.5.1 Sensores de presença*

Com base nos resultados obtidos na análise da incidência de luz natural realizada na **secção 3.11.2 Análise da quantidade de luz natural no interior do supermercado**, foi

determinado que alguns ambientes como, sala do pessoal, escritório, e sala de aprendizagem “Leon” possuem quantidade de luz suficientes para os ocupantes, sendo que a métrica sDA indica a quantidade de área do ambiente que possui uma iluminância mínima de 300 lux, entretanto, segundo a **norma EN 12464-1**, alguns ambientes precisam receber quantidade de luz superior a 300 lux, como exemplo, segundo a norma EN 12464-1, ambientes de conferência e reunião precisam de uma iluminância de 500 lux no plano de trabalho, e 300 lux envolta do local de atividade.

Portanto, para garantir uma iluminação mínima e ao mesmo tempo otimizar o tempo de funcionamento dos sistemas de iluminação, optou-se pela instalação de sensores de presença, invés dos sensores de luz, sem que também poderia ser uma combinação entre eles, as quais são estratégias de *daylighting*, como comentado pelo autor G. D. A. Faia [101]. Entretanto, para simplificar a análise foi proposta somente o sensor de presença.

Para se definir os valores de redução no consumo energético dos sistemas de iluminação, tentou-se algum documento ou norma que recomendasse essa diminuição, mas não foi encontrado valores para ambientes em supermercado, portanto, como referência foi utilizado os fatores de controlo indicado na **Portaria n.º 349-D/2013** [39, p. 67], as quais são especificados para cada ambiente. Assim, os resultados aqui obtidos não representam a realidade, somente uma estimativa estabelecida pelo autor deste trabalho, pois os valores dos fatores de controlo da **Portaria n.º 349-D/2013** são aplicados para definir a densidade de potência máxima de iluminação dos ambientes.

Portanto, com base na **Portaria n.º 349-D/2013**, foi estabelecido as novas potências de iluminação dos ambientes do supermercado, descritas na Tabela 78.

Tabela 78 - Novos valores da potência da iluminação elétrica com sensores de presença.

Ambientes	Potência (W)	Fator de controlo - presença	Potência corrigida (W)
Antecâmara de entrada/saída	416	0,9	374,4
Cafetaria	128	1,0	128,0
Armazém II	297	0,9	267,3
Sala do Chefe	68	1,0	68,0
Sala de CCTV	68	1,0	68,0
Armazém I e cais noturno	1.540	0,9	1.386,0
WC masculino – nível 0	22	0,8	17,6
Antecâmara I.S.	22	0,8	17,6
WC feminino	44	0,8	35,2
Zona de vendas	14.458	1,0	14.458,0
Zona de preparação	660	1,0	660,0

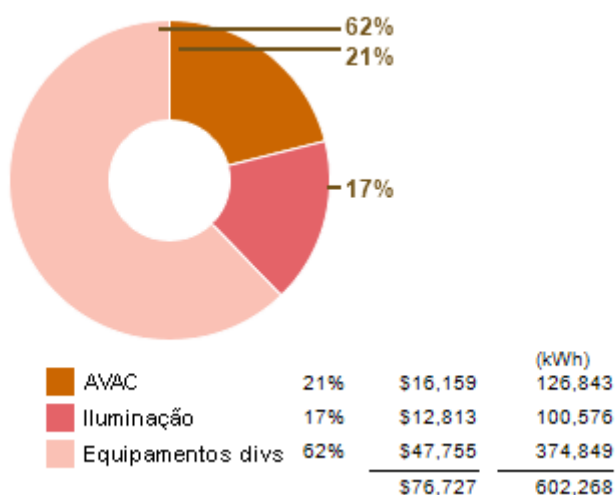
Sala do pessoal	334	1,0	334,0
Terraço	10	1,0	10,0
Sala de aprendizagem "Leon"	68	1,0	68,0
Escritório	272	1,0	272,0
Circulação	238	0,8	190,4
Vestiário feminino	44	0,8	35,2
WC feminino	66	0,8	52,8
WC masculino	66	0,8	52,8
Vestiário masculino	44	0,8	35,2
Sala I.T.	110	0,9	99,0
Sala de quadros	110	0,9	99,0
Despensa	22	0,8	17,6

Os fatores de controlo igual a 1, indicam que é indiferente colocar o sensor de presença ou não, pois geralmente são ambientes com fluxo alto de ocupantes, assim as luminárias sempre ficariam acesas.

Os gráficos dos consumos elétricos da simulação em condições reais e da simulação com os sensores de presença estão representados na Tabela 79.

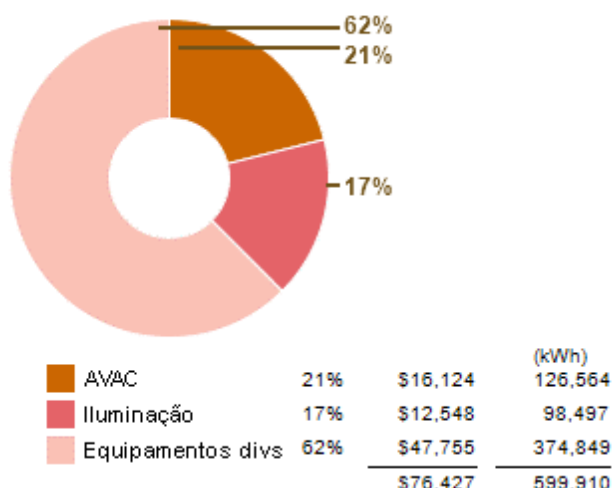
Tabela 79 – Consumo elétrico anual da simulação em condições reais e da aplicação de sensores de presença.

Simulação em condições  
reais





Medida – Sensores de presença



A simulação dos sensores de presença resultou numa diminuição do **consumo elétrico do sistema de iluminação de 2.079,00 kWh/ano**, e devido a diminuição da energia consumida pelo sistema de iluminação ocorreu uma diminuição no ganho de calor dos ambientes através do sistema de iluminação, assim diminuindo a carga de arrefecimento que resultou numa **diminuição dos consumos do sistema de climatização de 279 kWh/ano**. Portanto, a **redução global de energia elétrica foi de 2.358,00 kWh/ano**, o que representa uma **diminuição no custo energético de 300,40 €/ano**.

Entretanto, para determinar se esta medida é economicamente viável, é necessário realizar uma análise de viabilidade económica, como o *payback*. Neste trabalho não foi realizado análise de viabilidade económica para esta medida, assim sendo uma sugestão de trabalho futuro.

#### 3.12.5.2 Controlo da iluminação e utilização de tubo solar

Por meio da análise da incidência de luz natural realizada na secção **3.11.2 Análise da quantidade de luz natural no interior do supermercado**, alguns ambientes do supermercado já possuem quantidade de luz natural mínima aceitável para os ocupantes que é de 300 lux, mas não satisfaz as quantidades de luz estabelecida pela **norma EN 12464-1**, como comentando na secção anterior, segundo a norma EN 12464-1, para um escritório a quantidade de luz recomendada é de 500 lux.

Os resultados da análise da quantidade de luz natural interior indicaram que a zona de vendas possui quantidade de luz natural próxima do valor mínimo aceitável para os ocupantes, pois o valor do sDA para zona de vendas é igual a 40%, sendo que o mínimo é 55%, e devido o sistema de iluminação da zona de vendas ser o maior consumidor

entre os outros sistemas de iluminação, e pela zona de vendas possuir algumas áreas com incidência de luz natural, foi proposto instalação de tubos solares em toda a sua área, exceto próximo da fachada envidraçada, por haver uma grande incidência de luz natural.

Os estudos luminotécnicos foram realizados através do *software* DIALux, utilizando a versão evo 7, a qual possui implementado a metodologia BIM, apesar de ser uma versão BETA, assim pela interoperabilidade do DIALux e do Revit® serem *softwares* BIM, foi realizado importação do modelo Revit® para DIALux através do ficheiro .IFC, como ilustrado na Figura 93.

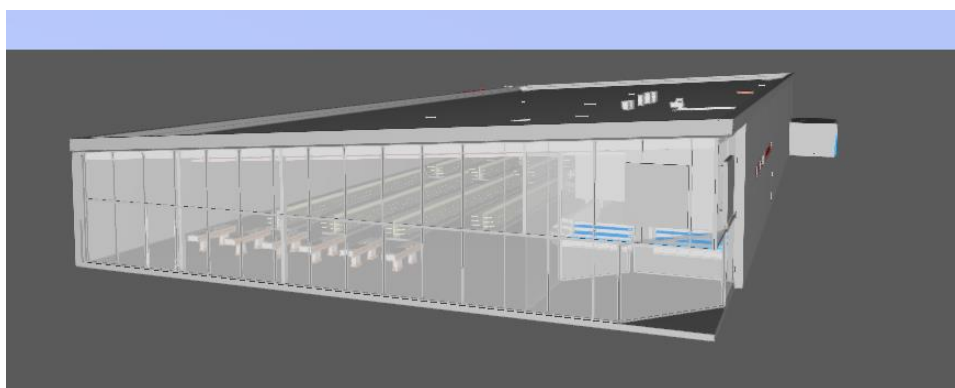


Figura 93 - Modelo Revit® exportado para o DIALux.

Entretanto, quando se tentava executar a simulação luminotécnica considerando a luz natural, sempre o DIALux informava um erro, como representado na Figura 94, mas quando se considerava somente a iluminação artificial, a simulação era executada sem erros.

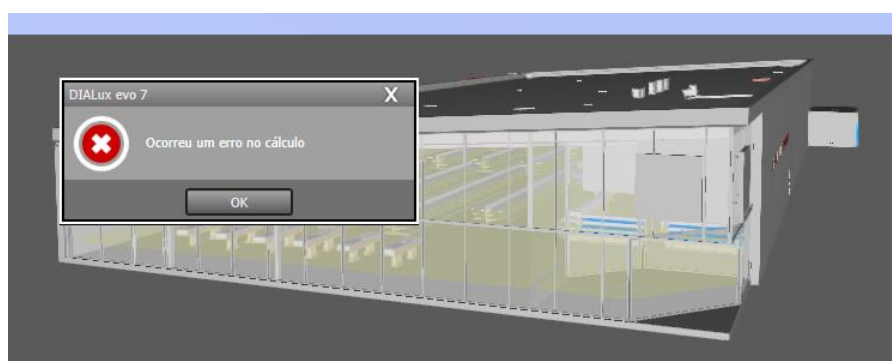


Figura 94 – Erro de cálculo na simulação luminotécnica com o modelo exportado do Revit®.

Assim, foram realizadas varias modificações no modelo Revit® com o objetivo de identificar se o erro gerado era referente a importação do .IFC ou da geometria do modelo desenhado no Revit®, e também foram realizadas modificações na geração dos ficheiros .IFC, entretanto nenhuma das modificações solucionaram o problema. Portanto, provavelmente este erro ocorre devido a ferramenta de importação de ficheiros .IFC do DIALux estar na versão BETA. Assim, possivelmente em versões futuras este erro será corrigido.

Portanto, o supermercado foi desenhado diretamente no DIALux, mas por causa das limitações das ferramentas de desenho do DIALux, foi necessário a realização de simplificações na geometria do supermercado, como a modelagem do nível 1, por não ser um segundo andar, mas sim um mezanino, desse modo, foi necessário considerá-lo como um edifício, assim perdendo a possibilidade de realizar estudos luminotécnicos nos ambientes do nível 1.

O modelo desenhado no DIALux está ilustrado na Figura 95.



Figura 95 - Modelo desenhado no DIALux.

Os dados de entrada para a realização da simulação luminotécnica são: latitude, longitude, e a direção do norte verdadeiro. A latitude é igual a  $39,61^\circ$ , longitude igual a  $-8,40^\circ$ , e a direção norte  $30,61^\circ$ . Depois de preenchido os dados de entrada no DIALux, define-se os cenários e seus respectivos parâmetros, como o modelo do céu que possui quatro opções: sem luz do dia, céu claro, céu médio e céu nublado; data e hora, que influenciam na posição do sol, quando considero a luz natural na simulação; grupos de luminárias; e a porcentagem referente ao reóstato de cada grupo de luminária (ou de uma única luminária).

Para a simulação luminotécnica da zona de vendas foram criados onze cenários, com alguns parâmetros em comum, sendo eles: céu encoberto, no dia 21/12 (solstício de inverno), às 12 horas (meio dia), com altura de 0,80 m do plano de cálculo referente ao chão pavimento do nível 0, e foram desconsiderados os móveis, devido há limitações do *hardware* do computador utilizado. Assim, os cenários criados estão listados a seguir:

- **Cenário 1:** somente iluminação artificial com 100% da potência nominal;
- **Cenário 2:** somente iluminação artificial com 50% da potência nominal;
- **Cenário 3:** somente iluminação artificial com 25% da potência nominal;
- **Cenário 4:** somente iluminação artificial com 15% da potência nominal;
- **Cenário 5:** somente iluminação artificial com 5% da potência nominal;

- **Cenário 6:** somente os tubos solares;
- **Cenário 7:** conjugação entre o sistema de iluminação artificial (potência nominal), luz natural, e tubos solares;
- **Cenário 8:** conjugação entre a luz natural, tubos solares, e 50% da potência nominal do sistema de iluminação artificial;
- **Cenário 9:** conjugação entre a luz natural, tubos solares, e 25% da potência nominal do sistema de iluminação artificial;
- **Cenário 10:** conjugação entre a luz natural, tubos solares, e 15% da potência nominal do sistema de iluminação artificial;
- **Cenário 11:** conjugação entre a luz natural, tubos solares, e 5% da potência nominal do sistema de iluminação artificial.

O tubo solar escolhido foi o SolaMaster 330DS, da Solatube®, devido a sua característica que em períodos próximos do meio dia, o seu fluxo luminoso é superior ao modelo 750DS, assim havendo a possibilidade que em alguns dias do ano seja possível desligar o sistema de iluminação artificial, pois somente a luz natural seria suficiente.

Os tubos solares no DIALux são simulados como se fossem luminárias, assim existindo um ficheiro fotométrico (.ies) para cada altura solar, sendo que a altura solar varia ao longo do ano em cada hora do dia, assim a Solatube® disponibiliza através dos seus representantes os ficheiros fotométricos dos seus produtos para altura solar de 20°, 30°, 40° até 90°. Assim, mesmo que se altere a data e hora das configurações de simulação do DIALux, os resultados referentes aos tubos solares serão os mesmos, portanto, se há finalidade de realizar estudos luminotécnicos em diferentes horas do dia, é necessário mudar os modelos de tubos solares para cada altura solar referente a hora do dia no modelo do DIALux.

Para se propor uma redução da potência do sistema de iluminação artificial conjugado com tubos solares, para cada intervalo da altura solar durante o dia, se torna muito trabalhoso e confuso, com isso a representante da Solatube® em Portugal, a **Polirigido Eco recomenda para edifícios localizados em Portugal Continental, que se utilize o ficheiro do tubo solar 330DS referente a altura solar igual a 50°, pois seria um valor médio da altura solar ao longo do ano, assim possibilitando realizar uma estimativa na redução da potência do sistema de iluminação, que consequentemente, resultará numa diminuição dos custos energéticos do supermercado.**

A Solatube® determina alguns critérios de espaçamento entre os tubos solares, referente aos modelos 330DS e o 750DS, sendo que os critérios são diferentes para ambientes fechados e abertos, e aplicáveis para tetos com altura superior a 4,5 m, e a

Solatube® informa que os critérios auxiliam na obtenção de uma iluminação uniforme, mas não a quantidade de luz natural recomendada ou ideal para o ambiente interior do edifício, assim necessitando de estudo luminotécnico para determinar os valores de lux no plano de trabalho [117].

Os critérios de espaçamento entre os tubos solares estão apresentados na Tabela 80, para ambientes fechados e abertos. O espaçamento entre os tubos solares utiliza como referência a altura do difusor de luz em relação ao plano de trabalho (que geralmente é 0,8 m acima do piso), denominado “altura de montagem” (*Mounting Height* – MH).

Tabela 80 - Critério da distância entre os tubos solares da Solatube® [117].

<b>Espaço</b>	<b>Espaço fechado</b>	<b>Espaço aberto</b>
Distância da parede	Espaço $\geq 0,5xMH$ ( $1xMH$ = máximo)	Espaço $\geq 0,5xMH$ ( $1xMH$ = máximo)
Entre unidades	$1xMH < \text{espaço} < 1,3xMH$ (espaço máximo = $1,5MH$ )	$1xMH < \text{espaço} < 1,3xMH$ (espaço máximo = $1,5MH$ )
Dica	<p>Usar uma única unidade para iluminar mais do que um espaço de 5m x 5m pode causar sombreamento de superfícies de parede e uniformidade inaceitável de iluminação da superfície de trabalho.</p> <p>O uso de uma única unidade para iluminar mais do que um espaço particionado de 48 m<sup>2</sup> pode causar uma sombra inaceitável das superfícies da mesa.</p>	

A Solatube® define como espaço fechado para os critérios, sendo um ambiente menor que 5 m largura e 5 m de comprimento, e não deve haver divisões do ambiente, por exemplo, escritórios, cozinhas, banheiros, salas de reuniões, entre outros. E os espaços abertos, são definidos sendo sala de aula, salas de exposições, corredores, grandes áreas de recepção, e salas de restaurantes [117].

A representação da altura de montagem (MH) está ilustrada na Figura 96.

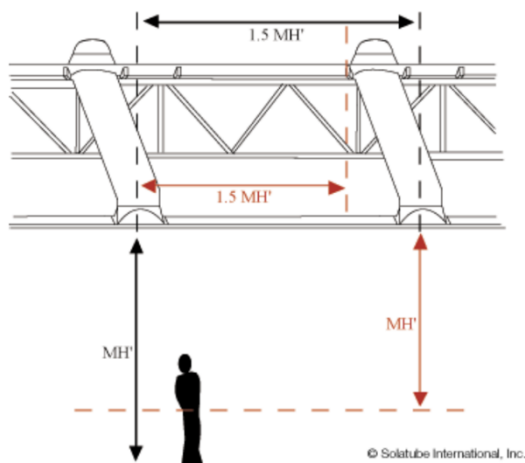


Figura 96 - Ilustração do critério de espaçamento entre os tubos solares [117].

A altura da cobertura do supermercado na zona de vendas varia entre 5,6 a 7 m, assim a zona de vendas é considerada um espaço aberto, o espaçamento entre os tubos solares recomendando pela Tabela 80, é entre  $1 \times MH$  à  $1,3 \times MH$ , sendo a distância máxima igual a  $1,5 \times MH$ . Considerou, a altura média do telhado igual a 6,35 m, então o  $MH$  é igual a 6,35 m menos 0,80 m, altura do plano de trabalho, logo  $MH$  igual a 5,55 m, e o espaçamento  $1,3 \times MH$ , é igual a 7,215 m.

Portanto, o espaçamento recomendado entre os tubos solares é de 5,55 m a 7,215 m, o espaçamento entre os tubos solares foi definido sendo de 7 m, e de 3,5 m a distância entre o tubo solar e a parede. Desse modo, foram instalados 22 tubos na zona de vendas, evitando a instalação de tubos solares perto das claraboias presente no supermercado, e da fachada envidraçada, pois os dois elementos já permitem a entrada de luz natural, com isso não sendo necessário a utilização de tubos solares próximos deles.

A distribuição dos tubos solares na zona de vendas está ilustrada na Figura 97, representada pelos pontos em vermelho.

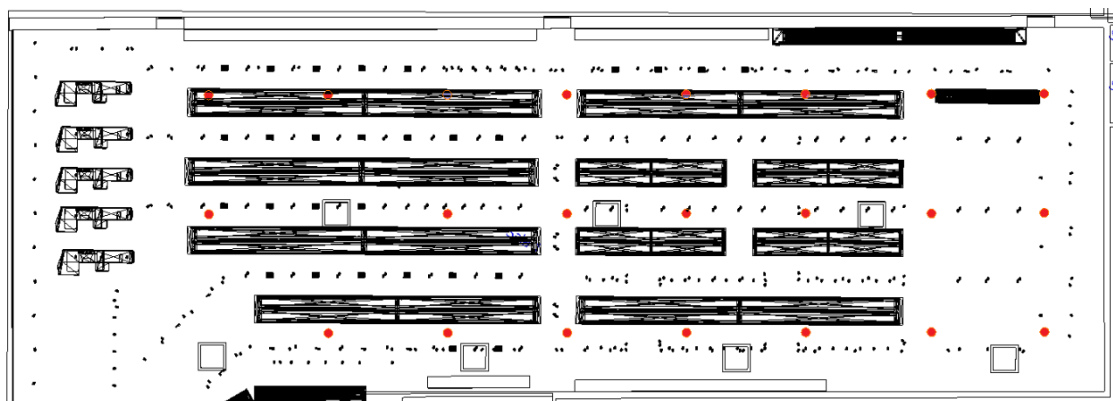


Figura 97 - Distribuição dos tubos solares.

Todos os resultados obtidos em relação a simulação luminotécnica quantificam a iluminância na zona de vendas, pois não foi realizado nenhuma simulação em relação ao ofuscamento dos ocupantes. A primeira simulação realizada foi do cenário 1, o qual considera somente o sistema de iluminação artificial, com potência nominal. O resultado da simulação está ilustrado na Figura 98.

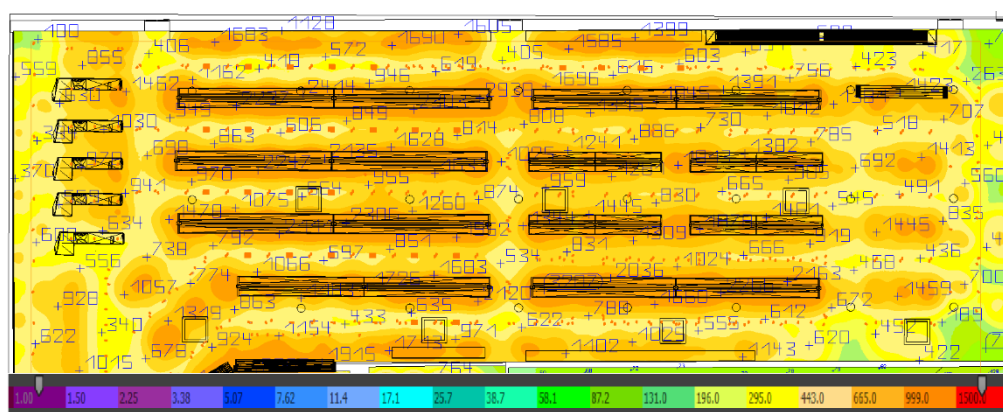


Figura 98 - Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 1.

Percebe-se que as luminárias estão direcionadas para as prateleiras de produtos, com isso os valores mais altos de iluminância estão presentes nos produtos, chegando próximos dos 2000 lux, enquanto, nos corredores entre as prateleiras, o valor mínimo encontrado para iluminância é de 300 lux. Na área de caixas, os valores de iluminância não representam a realidade, pois não foi encontrado o ficheiro fotométrico (.ies) de um modelo de luminária especial, assim os valores de iluminância obtidos da região são maiores na realidade do que os valores simulados.

A **Portaria n.º 349-D/2013** [39, p. 67], estabelece que os valores máximos admissíveis de iluminância não podem exceder em mais de 30% os valores presentes na norma EN 12464-1. Segundo a norma EN 12464-1, para áreas de vendas a iluminância recomendada é de 300 lux, sendo o valor máximo admissível igual 390 lux. Para a área dos caixas, a norma estabelece uma iluminância de 500 lux, e o valor máximo admissível de 650 lux. Portanto, os valores de iluminância calculados no cenário 1 ultrapassam os valores estabelecidos pela norma EN 12464-1.



Entretanto, na prática os valores de iluminância nos supermercados, principalmente na zona de vendas, possuem valores de iluminância maiores que os estabelecidos pela norma, segundo P. Willig [133, p. 46], isto ocorre devido a iluminação comercial ter como objetivo atrair clientes e fornecer iluminação suficiente para a avaliação do produto, e ajudar na conclusão da venda, assim é de alta relevância que a zona de vendas do supermercado tenha uma iluminação que destaque os produtos nas prateleiras. P. Willig [133, p. 46], também comenta para se criar um efeito visual de destaque é necessário uma proporção de iluminação de no mínimo 5:1, ou seja, a quantidade de luz direcionada para o produto é cinco vezes maior do que a quantidade de luz na sua volta, sendo que em alguns estabelecimentos comerciais esta proporção pode chegar a 30:1.

No **cenário 2**, o sistema de iluminação da zona de vendas possui a **potência reduzida em 50% referente a nominal**, assim diminuindo os valores de iluminância, devido a diminuição do fluxo luminoso. O resultado da simulação está ilustrado na Figura 99.

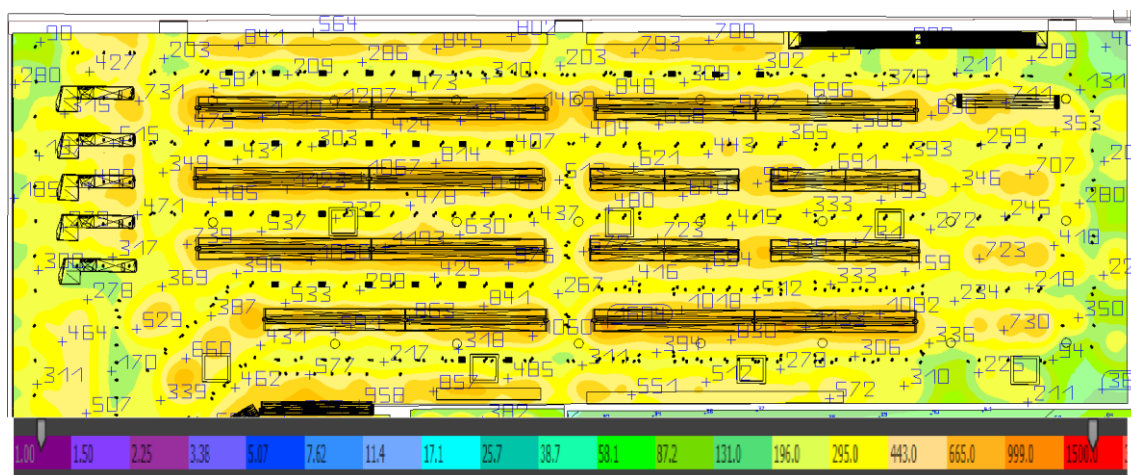


Figura 99 - Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 2.

Através da Figura 99, é possível perceber que os valores de iluminância nos corredores entre as prateleiras de produtos estão entre o intervalo de 270 a 443 lux, assim próximo do intervalo estabelecido pela Portaria n.º 349-D/2013, com valores entre 300 a 390 lux. Na maioria das áreas referente as prateleiras dos produtos, os valores de iluminância estão acima dos 665 lux. Portanto, com base na norma EN 12464-1, que estabelece que a iluminância na área de vendas de ser de 300 lux, **é possível reduzir a potência das luminárias em 50% e garantir uma iluminação admissível**, assim desconsiderando a influência da quantidade de luz sobre os clientes.

O **cenário 3** considera apenas a iluminação artificial **com 25% da potência nominal**. Os valores de iluminância simulados estão ilustrados na Figura 100.



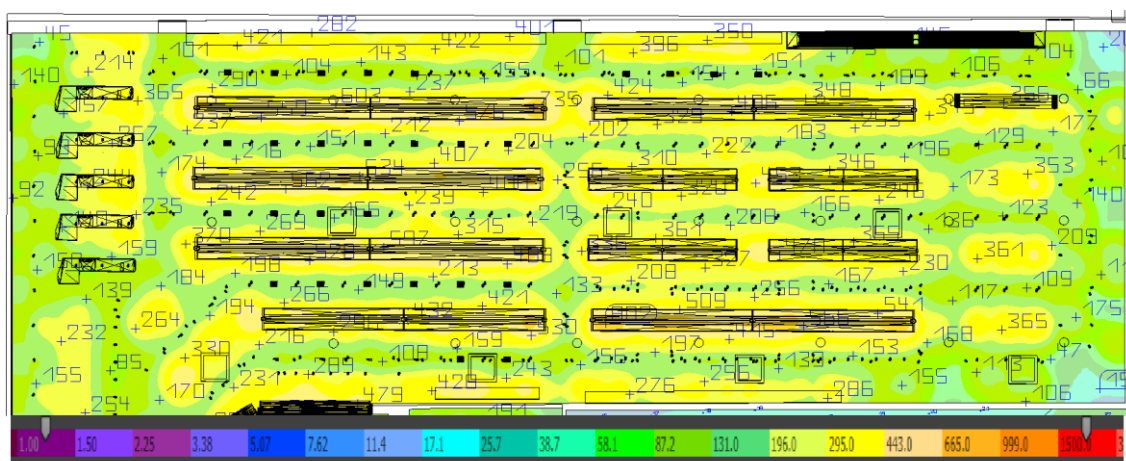


Figura 100 - Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 3.

Os valores de iluminância nos corredores entre as prateleiras, calculados no cenário 3, estão abaixo do intervalo estabelecido pelo regulamento, pois a maioria das áreas dos corredores possuem valores menores que 300 lux, como é possível perceber pela Figura 100, sendo que os tons de verde representam valores menores que 295 lux, e encobrem uma grande área da zona de vendas. Na região das prateleiras, a iluminância atinge valores superiores a 295 lux, representado pela cor amarela. Portanto, não é possível reduzir a potência do sistema de iluminação para 25% da potência nominal, pois resulta em áreas com pouca iluminação.

Entretanto, se for instalado os tubos solares poderá haver iluminação suficiente através da combinação da luz natural com a artificial, assim permitindo a redução na potência do sistema de iluminação que consequentemente resultaria numa poupança energética significativa.

Com base nos resultados obtidos no cenário 3, sabe-se que potências menores que 25% da potência nominal do sistema de iluminação da zona não atendem as necessidades de iluminação, mas com o objetivo de realizar comparações entre os cenários foram realizadas as simulações com 15% e 5% da potência nominal.

O **cenário 4**, considera somente a iluminação artificial **com 15% da potência nominal**. Os valores de iluminância calculados na zona de vendas estão ilustrados na Figura 101.

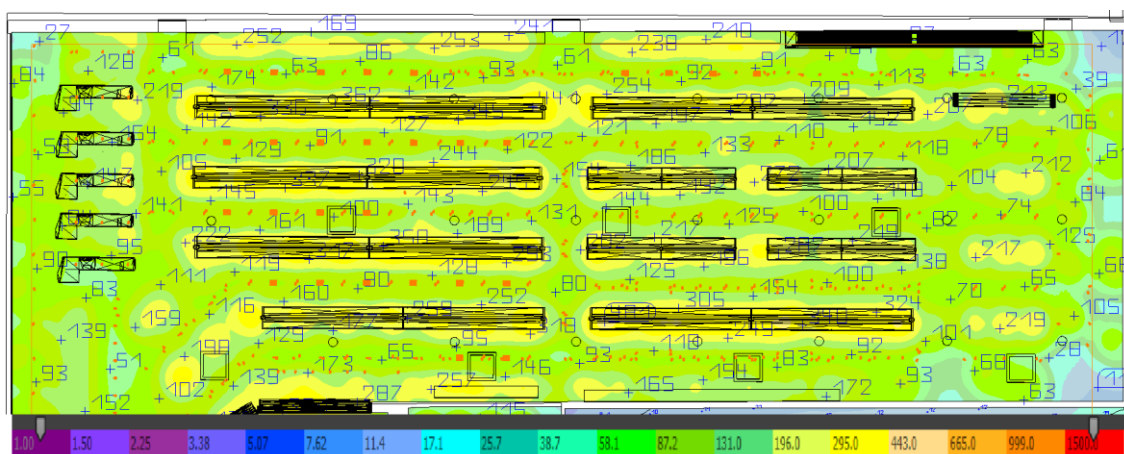


Figura 101 - Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 4.

Como foi afirmado anteriormente, nas áreas dos corredores entre as prateleiras, os valores de iluminância estão menores que o intervalo estabelecido pelo regulamento, sendo possível perceber através dos tons da cor verde utilizados para representar valores de iluminância menores que 131 lux, e que ocupam maior parte do plano de cálculo. Nas prateleiras de produtos, a iluminância possui valores próximos dos 300 lux, representado pela cor amarela, mas no fundo da zona de vendas há pouca iluminação (lado direito da Figura 101). Portanto, a configuração de 15% da potência nominal para o sistema de iluminação está comprovada que não pode ser utilizada devido a pouca iluminação.

O **cenário 5** considera somente a iluminação artificial **com 5% da potência nominal**. Os valores de iluminância do cenário 5 estão ilustrados na Figura 102.

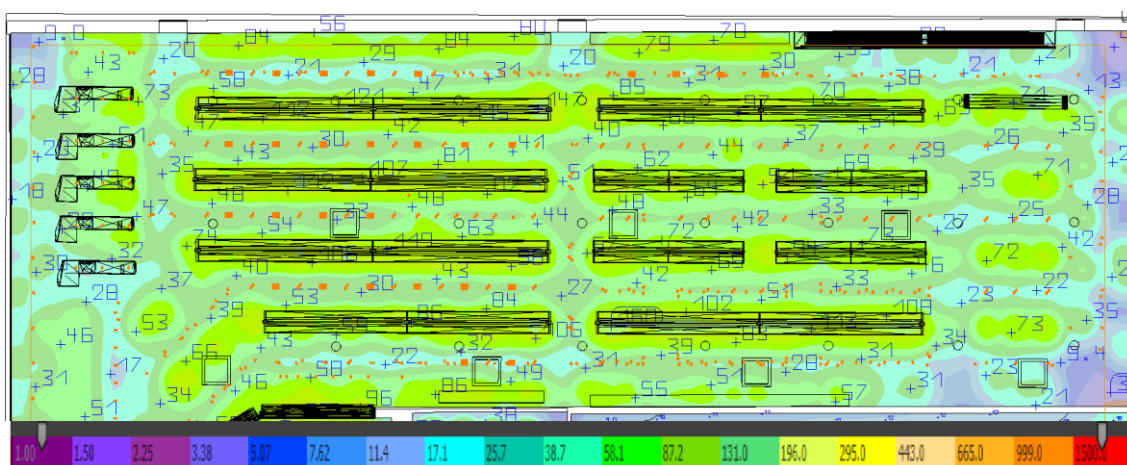


Figura 102 - Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 5.

Como comentado anteriormente, os valores de iluminância simulados para 5% da potência nominal do sistema de iluminação seriam extremamente pequenos, pois com esse valor de potência definido é semelhante a um cenário em que as luminárias estivessem desligadas, mas o objetivo da simulação do cenário 5 é gerar resultados para serem comparados com os demais cenários.

O cenário 6 considera somente os tubos solares e a luz natural incidida na zona de vendas, através da fachada envidraçada e das claraboias presentes no ambiente (as propriedades do vidro da fachada envidraçada e das claraboias são iguais ao modelo em condições reais do Revit®). Os valores simulados neste cenário estão ilustrados na Figura 103.

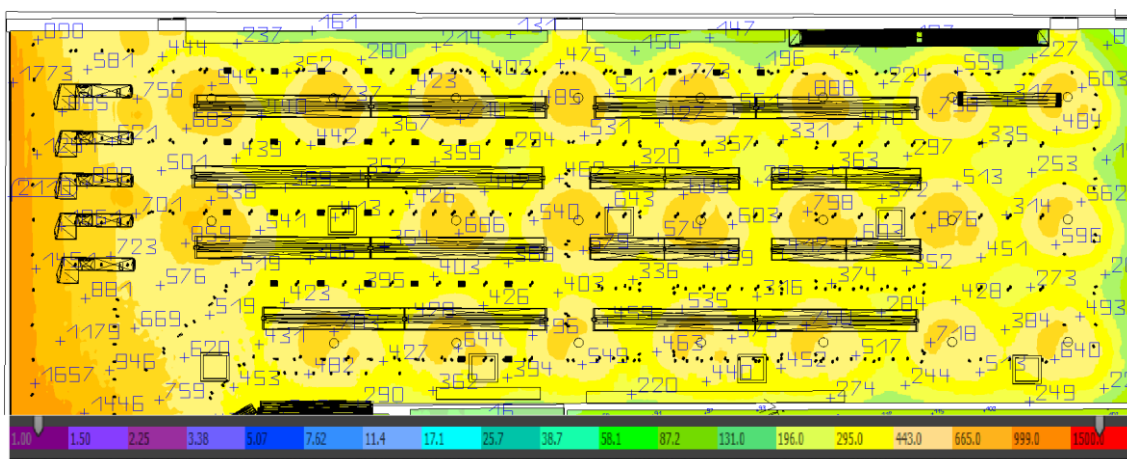


Figura 103 – Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 6.

Como pode ser analisado na Figura 103, somente os tubos solares e a incidência de luz natural na zona de vendas são suficientes para suprir a necessidade de iluminação em grande parte da zona de vendas, considerando o intervalo estabelecido pelo regulamento entre 300 a 390 lux, pois as cores entre os tons de amarelo e laranja claro representam valores entre 295 a 665 lux.

Entretanto, no fundo da zona de vendas e em algumas áreas próximas das paredes possuem valores baixos de iluminância em comparação com as demais áreas iluminadas, e nessas áreas com pouca iluminação existem prateleiras e alguns equipamentos de frios, com isso, sendo necessário aumentar a quantidade de luz incidida nestas áreas, podendo ser através da adição ou mudança na disposição dos tubos solares ou a utilização do sistema de iluminação.

Portanto, por causa do desempenho de iluminação dos tubos solares estar diretamente vinculado as condições do céu, e da altura solar, foi decidido manter a distribuição dos tubos solares, e utilizar o sistema de iluminação para garantir a iluminação, sendo que alguns períodos o sistema poderá ser desligado, pois como já comentando anteriormente, o tubo solar é simulado com desempenho de iluminação constante para determinada altura solar, assim, ao longo do ano poderá haver dias que poderá ser desligado o sistema de iluminação da zona de vendas.

O **cenário 7** considera a **iluminação artificial com 100% da potência nominal, luz natural, e os tubos solares**. Os valores de iluminância simulados estão representados na Figura 104.

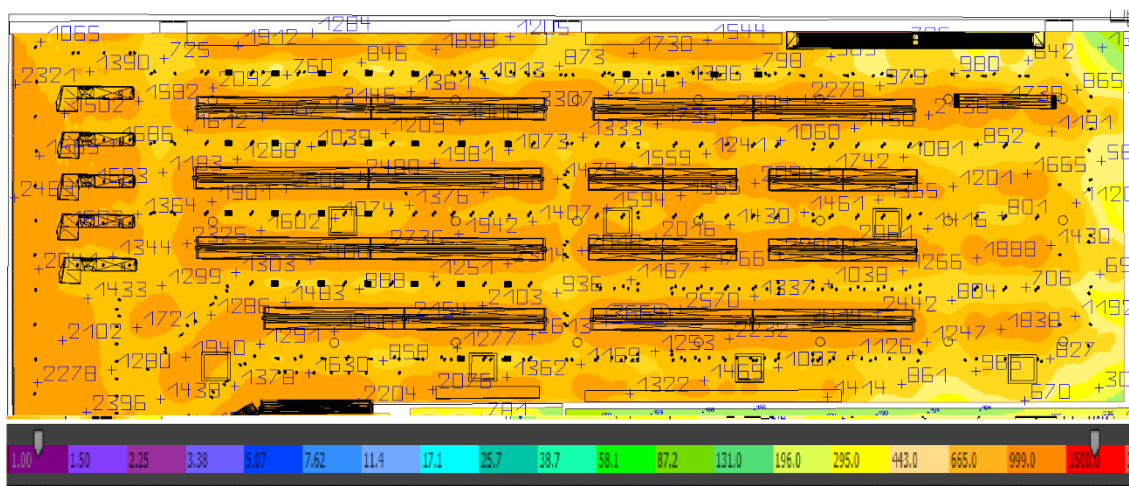


Figura 104 - Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 7.

Por meio dos cenários 1 e 6, sabe-se que somente a iluminação artificial e os tubos solares suprem as necessidades de iluminação, portanto no cenário 7 possui uma grande quantidade de luz, sendo possível perceber pela Figura 104, que os tons da cor laranja são predominantes, e representam valores próximos de iluminância entre 665 a 1499 lux. Portanto, esta configuração de iluminação não é possível de ser utilizada devido a excesso de luz, e por não resultar numa poupança energética.

O **cenário 8** considera a iluminação elétrica **com 50% da potência nominal, luz natural, e os tubos solares**. Os resultados de iluminância para este cenário estão representados na Figura 105.

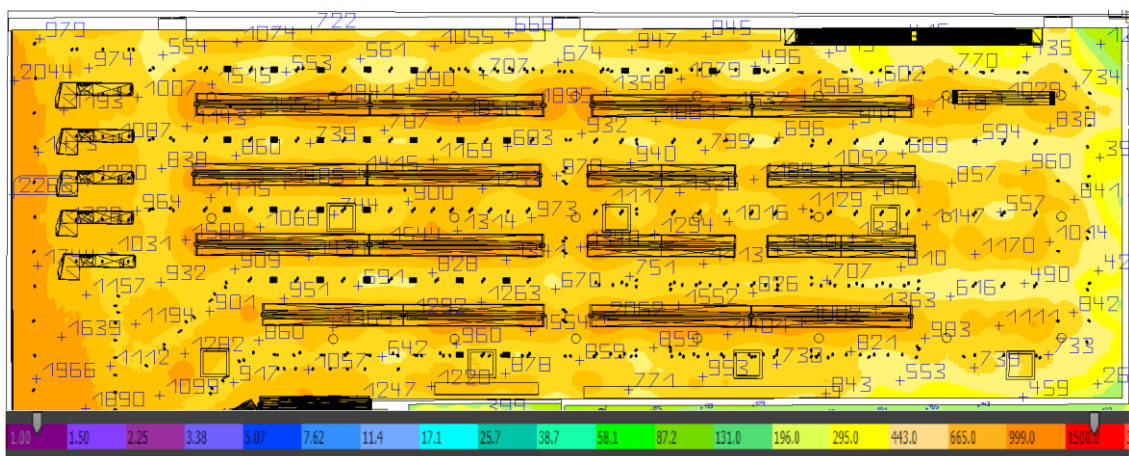


Figura 105 - Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 8.

Comparando o cenário 7 e o 8, é possível notar há diminuição dos valores de iluminância na zona de vendas, devido a diminuição da potência elétrica em 50%, mas mesmo assim ainda continuam altos em relação aos valores estabelecidos no regulamento, pois é possível ver que os tons de cor laranja representam os valores de iluminância superiores a 443 lux, e é a cor predominante na maior parte da zona de vendas, como ilustrado na Figura 105. Assim, havendo a possibilidade de diminuir

ainda mais a potência do sistema de iluminação da zona de vendas, sem que comprometa a qualidade de iluminação, com a finalidade de se conseguir reduções maiores em relação aos consumos elétricos da iluminação.

O **cenário 9** considera a **luz natural, os tubos salares, e a iluminação artificial com 25% da potência nominal**. Os valores de iluminância simulados no cenário 9 estão ilustrados na Figura 106.

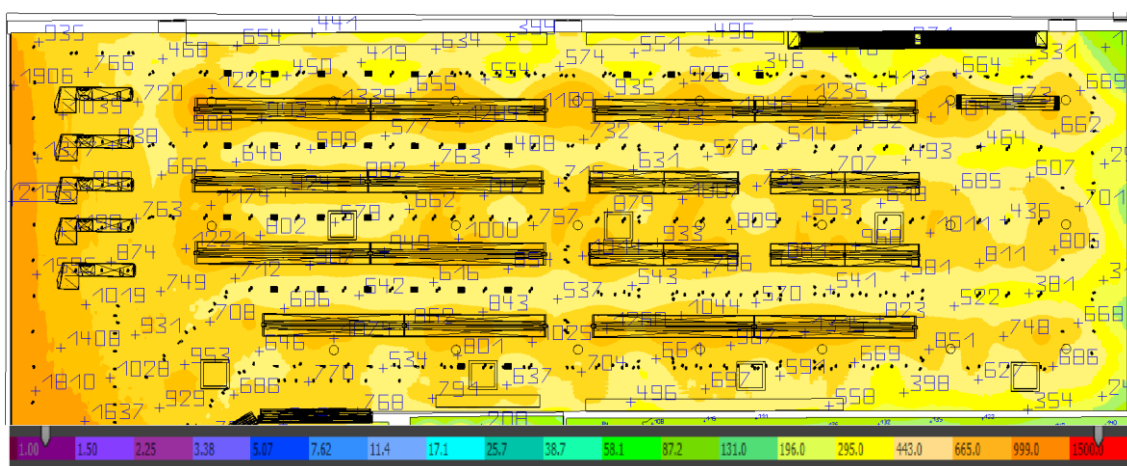


Figura 106 - Iluminância na zona de vendas simulada no cenário 9.

No cenário 9, os valores de iluminância ainda continuam superiores aos valores estabelecidos pelo regulamento entre 300 a 390 lux, como já era previsto, pois sabe-se que somente os tubos solares (cenário 6) são suficientes para suprir as necessidades de iluminação. Os valores de iluminância nos corredores, representado pela cor laranja claro, corresponde a valores entre 443 a 665 lux, assim sendo uma boa iluminação. Nas prateleiras, a cor laranja é predominante e representa os valores entre 665 a 999 lux, sendo uma boa iluminação. Portanto, a configuração do cenário 9 é uma possível proposta de otimização energética.

O **cenário 10** considera a luz natural, os tubos solares, e a iluminação artificial **com 15% da potência nominal**. Os valores de iluminância calculados na simulação estão ilustrados na Figura 107.



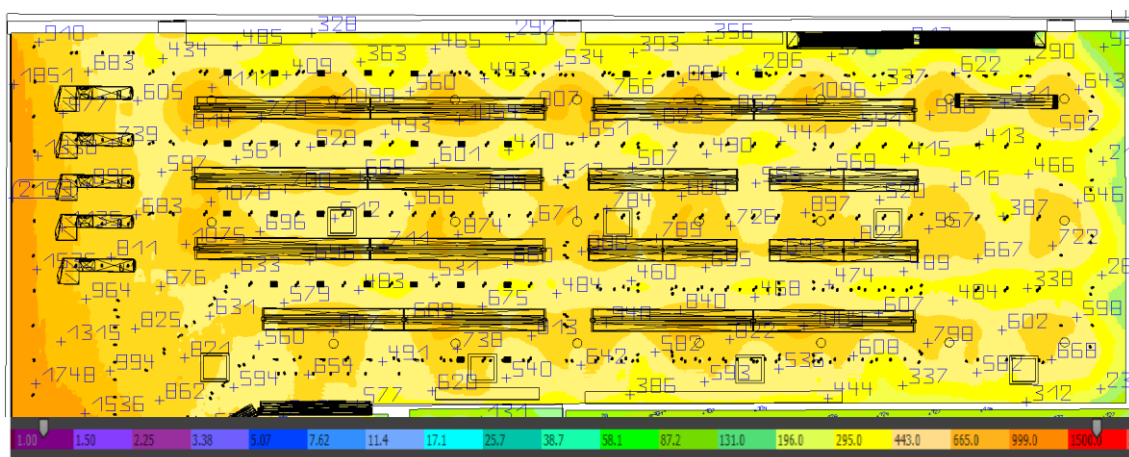


Figura 107 - Iluminância na zona de vendas obtida no cenário 10.

Os valores de iluminância calculados no cenário 10, na maior parte da zona de vendas possuem valores superiores do intervalo estabelecido pelo regulamento, entre 300 a 390 lux, pois a cor amarela representa valores superiores a 295 lux, e as tonalidades de laranja representam valores acima de 443 lux.

O **cenário 11** considera a luz natural, os tubos solares, e a iluminação artificial com potência igual a **5% da potência nominal**. Os valores de iluminância calculados na simulação estão representados na Figura 108.

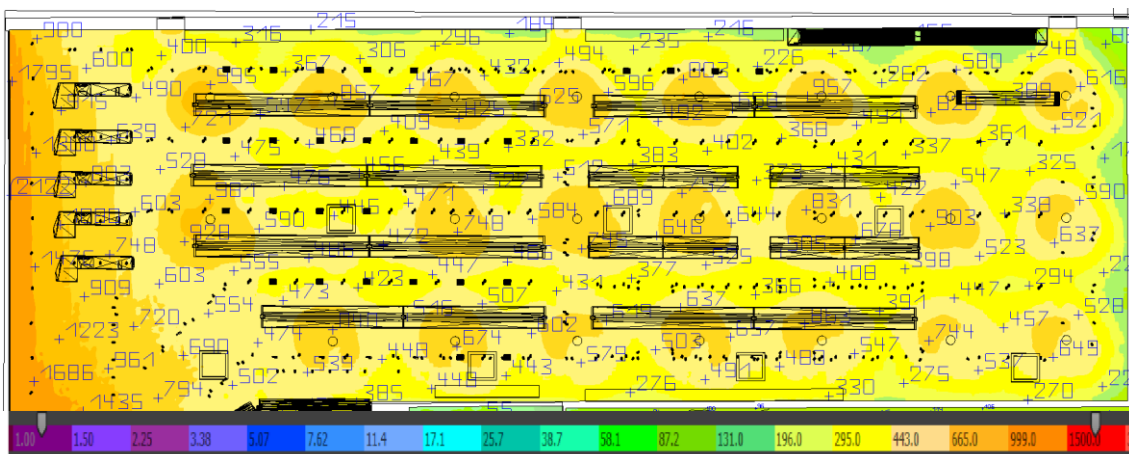


Figura 108 - Iluminância na zona de vendas obtida no cenário 11.

Os valores de iluminância calculados no cenário 11, nas áreas de circulação entre as prateleiras de produtos estão próximos do intervalo estabelecido pelo regulamento, pois a predominância da cor amarela representa valores entre 295 a 440 lux.

Portanto, através da simulação luminotécnica dos cenários 1 ao 11, demonstrou que os tubos solares podem suprir as necessidades de iluminação em alguns dias do ano, como analisado no cenário 6 (Figura 103), lembrando que na simulação realizada o desempenho dos tubos solares são afetados pelas condições do céu que não são

constantes, assim os valores de iluminância na zona vendas seriam influenciados pelas condições do céu e pela altura solar.

Segundo a Autodesk Knowledge Network [134], para se realizar bom estudo luminotécnico, é necessário executar várias simulações variando os seguintes parâmetros: modelo de céu, período do ano, data e hora. Entretanto, é improvável que as condições simuladas sejam verdadeiras de hora em hora em relação a realidade, mas auxiliam na análise dos resultados (mais informações relacionadas a simulação luminotécnica com base nas informações disponibilizadas pela Autodesk® estão no ANEXO 13).

Portanto, a partir dos resultados de iluminância obtidos através da simulação dos cenários do 1 ao 11, foi possível propor algumas medidas de eficiência energética, sendo que a primeira medida de otimização propõe uma redução na potência de iluminação da zona de vendas em 50% da potência nominal sem a instalação de tubos solares, com base na análise do cenário 2. As potências das lâmpadas das luminárias podem ser controladas, através da instalação de *dimmer*, que através da diminuição da potência haverá uma poupança energética. A segunda medida de otimização energética propõe a instalação de 22 tubos solares, e o sistema de iluminação elétrica com 25% de potência nominal, para garantir que haja uma iluminação mínima aceitável em dias de chuva, por exemplo, como analisado no cenário 9.

#### 3.12.5.2.1 Medida 1 – Sistema de iluminação configurado com 50% da potência nominal

Para realizar a variação da potência do sistema de iluminação da zona de vendas, tentou-se mudar o perfil de utilização do sistema de iluminação, mas apesar do Revit® permitir definir os perfis de ocupação, de utilização do sistema de iluminação, e dos equipamentos elétricos, a mudanças destes perfis não afetaram os resultados da simulação dinâmica, entretanto, não foi possível determinar se era um erro do modelo utilizado ou uma limitação do Revit®.

Portanto, para simular a medida 1, foi reduzida a potência do sistema de iluminação da zona de vendas de 14,458 kW para 7,229 kW, redução de 50%, e mantendo-se o mesmo perfil de utilização do sistema de iluminação do modelo em condições reais, representado na Figura 51. O perfil de utilização do sistema de iluminação possui um período do dia definido igual a 100% de utilização, logo se reduzir o valor da potência do sistema de iluminação informado nos dados de entrada do Revit®, possui o mesmo efeito de modificar o perfil de utilização do sistema de iluminação para 50%.

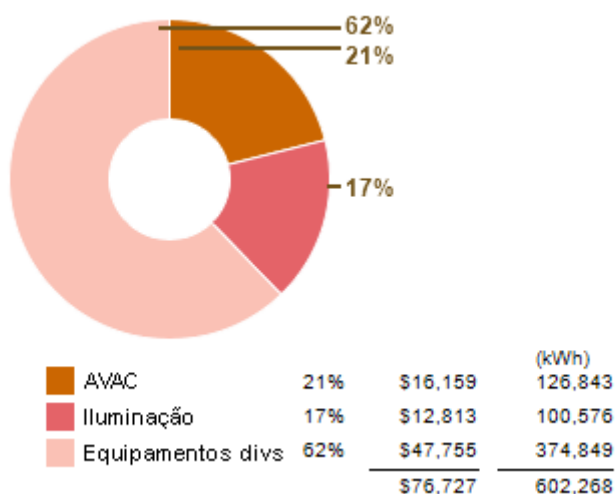
Entretanto, devido aos períodos das 6h às 8h, e das 22h às 24h, o perfil de utilização do sistema de iluminação estar definido em 20%, provocará um desvio no cálculo do consumo e custo anual de energia elétrica do supermercado, devido no modelo em condições reais, os 20% é em relação ao valor de 100% da potência nominal do sistema

de iluminação, e na medida 1, os 20% é sobre o 50% da potência nominal do sistema de iluminação informada. Assim, para tentar contabilizar este desvio foi realizado um cálculo utilizando uma folha de cálculo do Excel® para quantificar a energia anual consumida e seu custo, e compará-la com o valor simulado no Revit®.

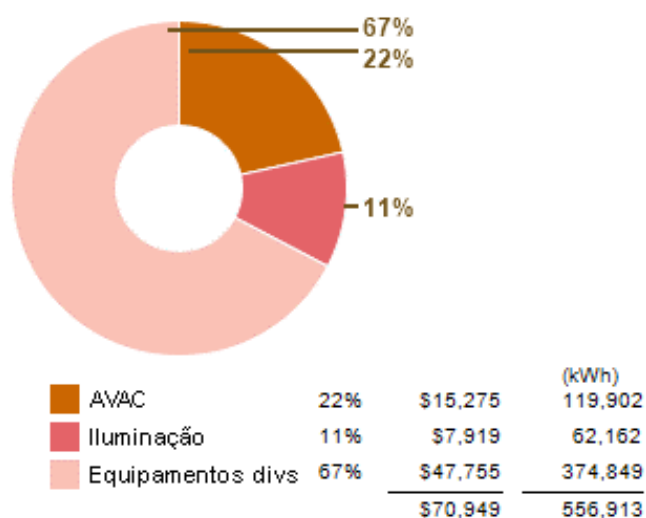
Os consumos e custos anuais de energia elétrica obtidos através da simulação em condições reais e da medida 1, com a potência do sistema de iluminação definida em 50% da nominal, estão representados na Tabela 81, sendo que os valores dos consumos e custos elétricos são os totais do supermercado, e não somente da zona de vendas.

Tabela 81 – Consumos e custos anuais de eletricidade da simulação em condições reais e da medida 1 – sistema de iluminação com potência igual a 50% do valor nominal.

Simulação em condições reais



Medida 1 – Sistema de iluminação com potência igual a 50% da nominal



O Revit® considera que uma parcela da potência elétrica do sistema de iluminação é transformada em calor para o ambiente, com isso contribuindo para o aumento no



consumo elétrico do sistema de climatização. Assim, a medida 1 resultou numa redução dos custos energéticos relacionados com o sistema de iluminação da zona de vendas de **4.894,00 €/ano (38,19%)**, com o sistema de climatização a redução foi de **884,00 €/ano**, logo a redução dos custos energéticos total é igual a **5.778,00 €/ano (7,53%)**.

Para quantificar o desvio causado por considerar o mesmo perfil de utilização, foi calculado a energia total anual referente ao sistema de iluminação da zona de vendas, que está representada na Tabela 82, **considerando o preço da energia elétrica igual a 0,13 €/kWh, o período de funcionamento do sistema de iluminação igual a 17 horas diárias, com o perfil de utilização igual ao do modelo em condições reais, ao longo de 365 dias.**

Tabela 82 - Custo anual com sistema de iluminação na zona de vendas em condições reais.

Horas do dia	Percentagem de utilização da potência	Energia consumida a cada hora (kWh)
6:0	20%	2,89
7:0	20%	2,89
8:0	100%	14,46
9:0	100%	14,46
10:00	100%	14,46
11:00	100%	14,46
12:00	100%	14,46
13:00	100%	14,46
14:00	100%	14,46
15:00	100%	14,46
16:00	100%	14,46
17:00	100%	14,46
18:00	100%	14,46
19:00	100%	14,46
20:00	100%	14,46
21:00	100%	14,46
22:00	20%	2,89
23:00	20%	2,89
Consumo total diário (kWh/dia)		213,98
Consumo total anual (kWh/ano)		78.102,12
<b>Custo total anual (€/ano)</b>		<b>10.153,28</b>

O custo total anual calculado foi de **10.153,28 €/ano**, para condições reais de funcionamento do supermercado. Portanto, para a comparação considerou-se o cálculo do custo total anual do sistema de iluminação da zona de vendas referente a medida 1, que está representado na Tabela 83, e **considerou-se o preço da energia elétrica igual**

a **0,13 €/kWh**, o período de funcionamento do sistema de iluminação igual a **17 horas diárias**, **50%** de utilização do sistema de iluminação entre as 8h e as 21h, ao longo de **365 dias**.

Tabela 83 - Custo anual com sistema de iluminação na zona de vendas da media 1.

Horas do dia	Percentagem de utilização da potência	Energia (kWh)
6:0	20%	2,89
7:0	20%	2,89
8:0	50%	7,23
9:0	50%	7,23
10:00	50%	7,23
11:00	50%	7,23
12:00	50%	7,23
13:00	50%	7,23
14:00	50%	7,23
15:00	50%	7,23
16:00	50%	7,23
17:00	50%	7,23
18:00	50%	7,23
19:00	50%	7,23
20:00	50%	7,23
21:00	50%	7,23
22:00	20%	2,89
23:00	20%	2,89
Consumo total diário (kWh/dia)		112,77
Consumo total anual (kWh/ano)		41.161,93
<b>Custo total anual (€/ano)</b>		<b>5.351,05</b>

O custo total calculado através da folha de cálculo do Excel®, foi igual a **5.351,05 €/ano**, assim comparando com o custo total do sistema de iluminação em condições reais calculado na Tabela 82, há uma redução dos custos energéticos de **4.802,23 €/ano (47,30%)**.

A redução dos custos energéticos obtida através das simulações do Revit® considerando apenas o sistema de iluminação, representadas na Tabela 81, foi de **4.894,00 €/ano**, e pelo cálculo no Excel®, a redução dos custos energéticos foi de **4.802,23 €/ano**, sendo assim, a diferença entre os valores é de **91,77 €/ano**. Portanto, o desvio causado por considerar o mesmo perfil de utilização do sistema de iluminação na simulação da medida 1 no Revit®, é **aproximadamente 1,91%**, considerando o valor calculado pelo Excel® sendo o valor de referência, assim o desvio é insignificante, com

isso pode-se afirmar que os valores obtidos na simulação dinâmica no Revit® referente a medida 1 são aceitáveis.

Portanto, a medida 1 que propõe a redução em 50% da potência do sistema de iluminação é uma medida eficaz de otimização energética, pois **permite uma redução de 884,28 €/ano no custo de energia elétrica total do supermercado, que corresponde numa diminuição do consumo elétrico de 6.941,00 kWh/ano**, com base nas simulações realizadas no Revit®, considerando a diminuição do consumo elétrico do sistema de climatização (apresentado na Tabela 81).

#### 3.12.5.2.2 Medida 2 – Conjugação dos tubos solares e iluminação artificial com 25% da potência nominal

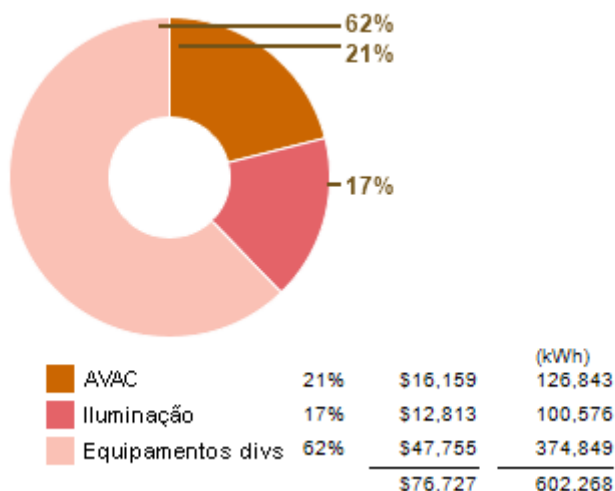
A medida 2 propõe a instalação de 22 tubos solares, e redução na potência do sistema de iluminação para 25% da potência nominal da zona de vendas, assim, a potência de iluminação passando de 14,458 kW para 3,615 kW, com base nos dados obtidos na simulação luminotécnica do cenário 9.

Como comentando na medida 1, a modificação realizada no perfil de utilização do sistema de iluminação da zona de vendas no Revit®, não influenciou os resultados. Portanto, foi considerado o mesmo perfil de utilização do sistema de iluminação em condições reais, e a potência do sistema de iluminação da zona de vendas igual a 3,615 kW.

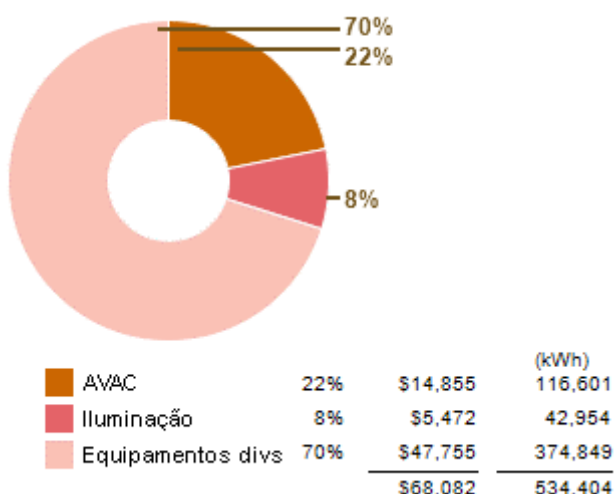
Os consumos e custos elétricos anuais calculados na simulação em condições reais e da medida 2 através da simulação dinâmica do Revit®, estão representados na Tabela 84, sendo que os valores apresentados são referentes aos totais do supermercado.

Tabela 84 - Consumos e custos anuais de eletricidade da simulação em condições reais e da medida 2 – sistema de iluminação com potência igual a 25% do valor nominal.

Simulação em condições reais



Medida 2 – Conjugação tubo solar e Iluminação artificial com potência igual a 25% da nominal



A simulação da medida 2, mostra uma redução dos custos energéticos com o sistema de iluminação igual a 7.341 €/ano, e uma redução dos custos energéticos com o sistema de climatização igual a **1.304 €/ano**, devido a diminuição na potência de iluminação, assim diminuindo o ganho de calor proveniente da transformação da energia elétrica em calor pelo sistema de iluminação. Portanto, a redução dos custos energéticos total no consumo elétrico do supermercado é de **8.645,00 €/ano, que representa uma redução do consumo elétrico global igual a 67.864,00 kWh/ano.**

Segundo o *site* da Ingenieros S.A. [135], a instalação de um tubo solar possui os seguintes custos: tubo solar 405,78 €; uma extensão rígida 61,16€; um oficial montador 17,41€; um ajudante montador 16,45€, e mais alguns custos complementares, **o valor unitário de cada tubo solar montado é de 506,28 €.** Assim, **22 tubos solares representam um investimento de 11.138,16 €, com uma redução no**

custo energético anual do supermercado de **8.645,00 €/ano**, e foi considerado que **não há custo de manutenção**, logo o *payback* simples é de 1,29 anos. Portanto, a medida 2 resulta numa diminuição considerável dos consumos energéticos do sistema de iluminação, e possui viabilidade económica para ser implementada, com um rápido retorno de investimento.

### 3.12.5.3 Resumo das medidas de melhoria do sistema de iluminação

Para facilitar a comparação e a perceção do impacto de cada medida aplicada no sistema de iluminação da zona de vendas do supermercado, os valores da redução dos consumos e custos elétricos anuais do supermercado foram representados na Tabela 85.

Tabela 85 – Comparação entre as medidas de otimização energética do sistema de iluminação da zona de vendas.

Medidas	Poupança energética global (kWh/ano)	Redução do custo energético (€/ano)
Sensores de presença	2.358,00	300,40
Medida 1 – sistema de iluminação com potência igual a 50% da nominal	45.355,00	5.778,23
Medida 2 – Conjugação tubo solar e iluminação artificial com potência igual 25% da nominal	67.864,00	8.645,88

A medida referente a instalação de sensores de presença, como comentado anteriormente, foi realizada sendo uma estimativa seguindo um fator de redução estipulado, assim não possui uma fidelidade com a realidade, somente de interesse de análise académica, e entre as três medidas propostas, ela é que possui a menor redução do consumo elétrico do supermercado, com uma redução dos custos energéticos de **300 €/ano**, sendo necessário a realização de uma análise de viabilidade económica para descobrir se a redução dos custos energéticos obtida, viabiliza a compra dos sensores de presença.

A medida 1 propõe a redução da potência do sistema elétrico para 50% da potência nominal da zona de vendas, através da instalação de *dimmers*, a qual mostrou a possibilidade de se economizar 45.355,00 kWh/ano, logo uma redução dos custos energéticos de 5.778,23 €/ano, mas sendo necessário realizar um estudo de viabilidade económica para sua implementação, para a aquisição e instalação dos *dimmers*.

A medida 2 propõe a instalação de tubos solares permitindo a redução da potência do sistema de iluminação da zona de vendas para 25% da potência nominal, com isso havendo a possibilidade de poupar 67.864,00 kWh/ano, que representa uma redução dos custos energéticos de 8.645,88 €/ano.

Portanto, entre as três medidas propostas de otimização energética em relação aos sistemas de iluminação do supermercado, a medida 2 se mostrou a mais relevante devido a maior possibilidade de redução dos custos energéticos e com rápido *payback* de aproximadamente de 1,29 anos.

### 3.12.6 Alteração dos sistemas de climatização disponíveis no Revit®

A substituição dos equipamentos de climatização existentes no supermercado, por modelos mais eficientes, poderia resultar em reduções significativas no consumo de energia elétrica, como apresentado no certificado energético do supermercado, mostra que o sistema de aquecimento do supermercado é 75% mais eficiente em comparação a referência, entretanto o sistema de arrefecimento é 25% menos eficiente que a referência, como ilustrado na Figura 109.

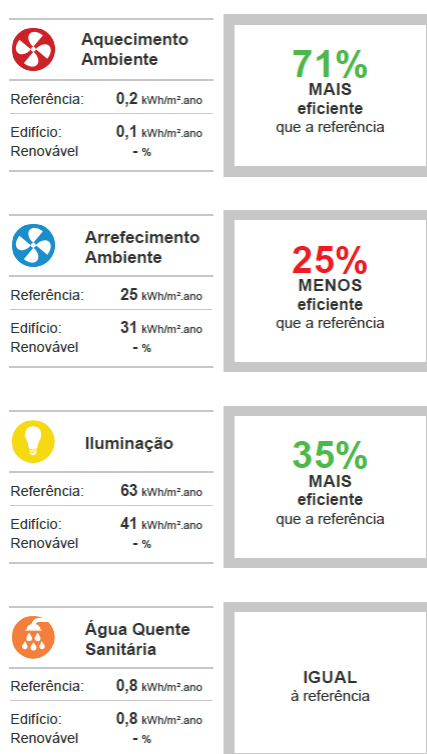


Figura 109 Indicadores de desempenho do supermercado em Tomar.

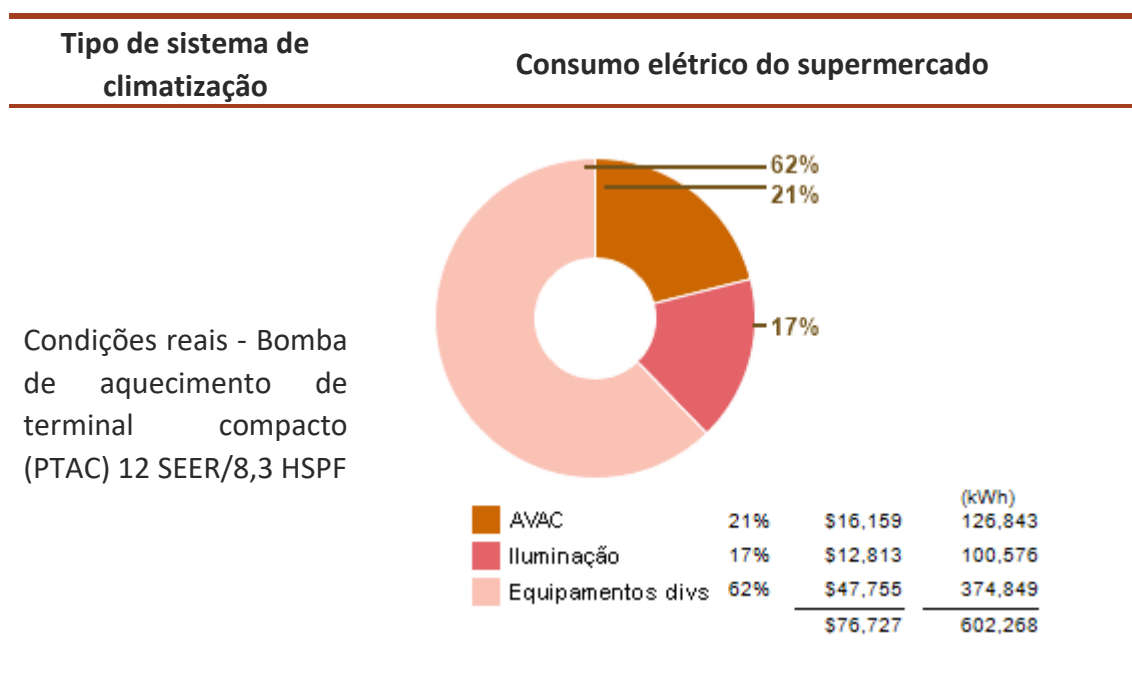
Entretanto, como comentado em secções anteriores deste trabalho, o Revit® não permite especificar e modificar os equipamentos de climatização, por utilizar sistemas

de climatização padronizados, assim tornando impossível testar equipamentos de climatização com melhores eficiências. A falta de possibilidade de configuração dos sistemas de climatização no Revit®, é uma das suas grandes limitações comparados a outros *softwares*, como o Trace700® e o Energy Plus.

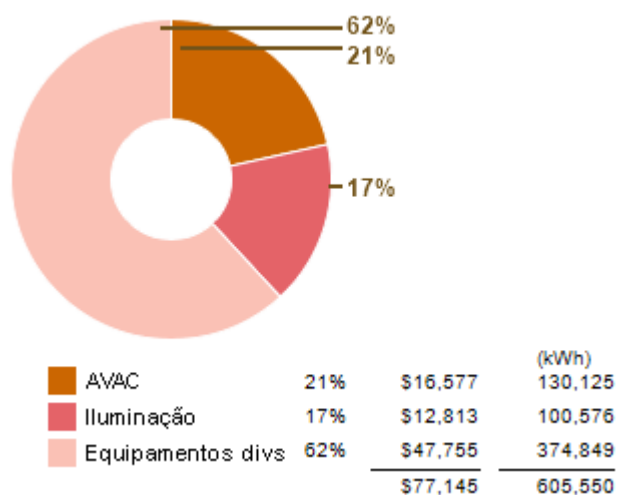
Assim, foram realizadas as simulações dinâmicas com outros de sistemas de climatização disponibilizados pelo Revit®, os quais foram detalhados no ANEXO 8. Porém, todas as opções de sistemas de climatização possuem altas eficiências em comparação aos sistemas geralmente encontrados em edifícios.

Os resultados obtidos referentes as modificações dos sistemas de climatização estão representados na Tabela 86.

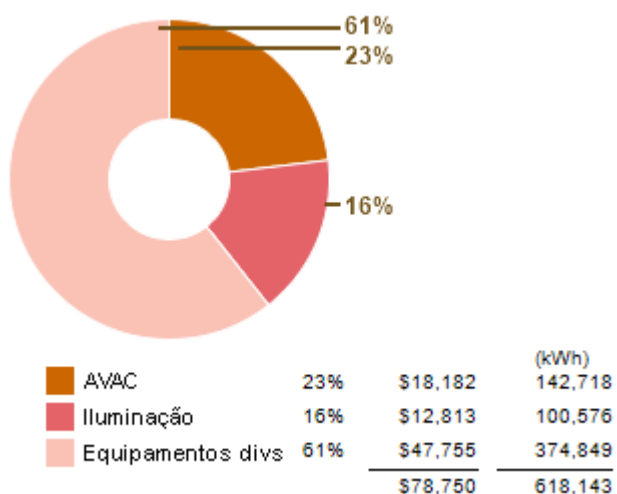
Tabela 86 - Comparação dos consumos elétricos em relação aos tipos de sistemas de climatização presente no Revit®.



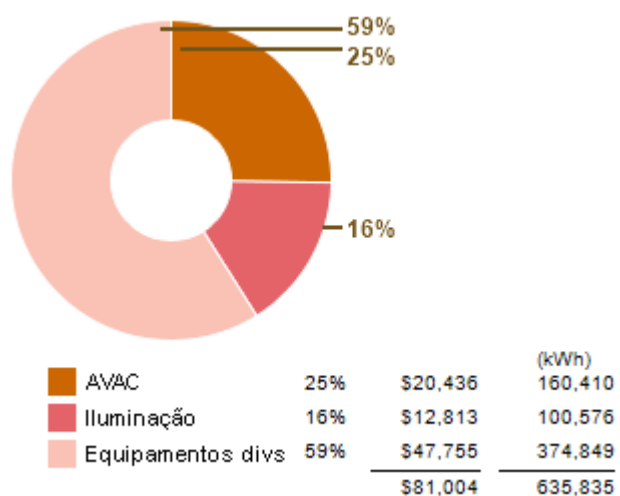
Ventilação/Ar-  
condicionado compacto  
11.3 EER, 84,4%  
aquecimento de caldeira



Ventilação/Ar-  
condicionado central,  
Aquecimento HW,  
Resfriador 5,96 COP,  
caldeiras efic. 84,5

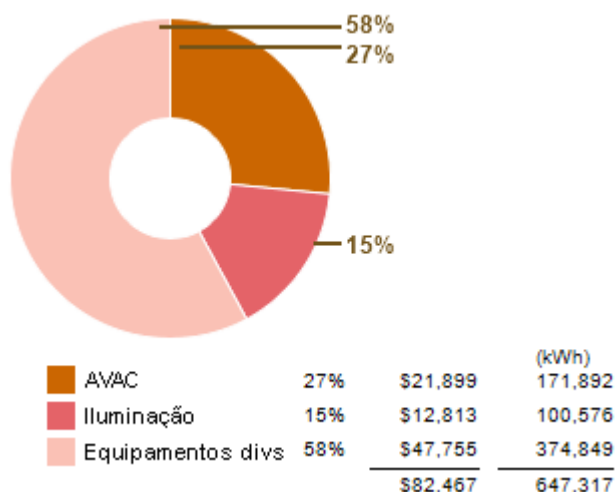


Sistema de *Fan Coil* 4-  
tubos, Resfriador 5,96  
COP, caldeiras efic. 84,5

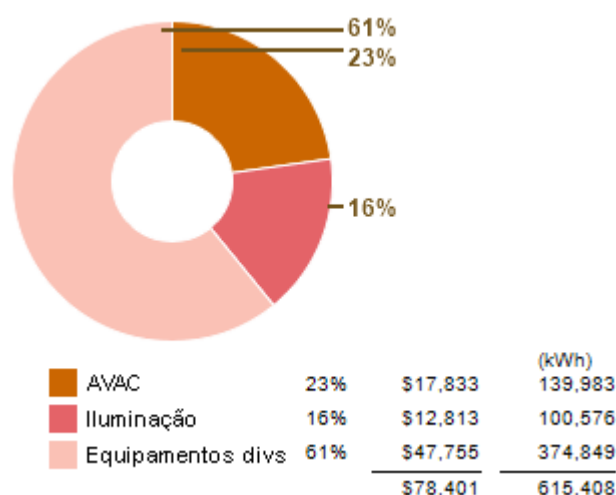




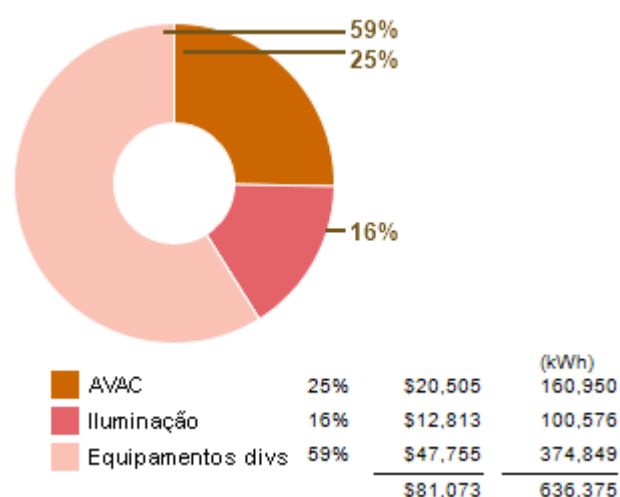
Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento de resistência elétrica, Resfriador 5,96 COP



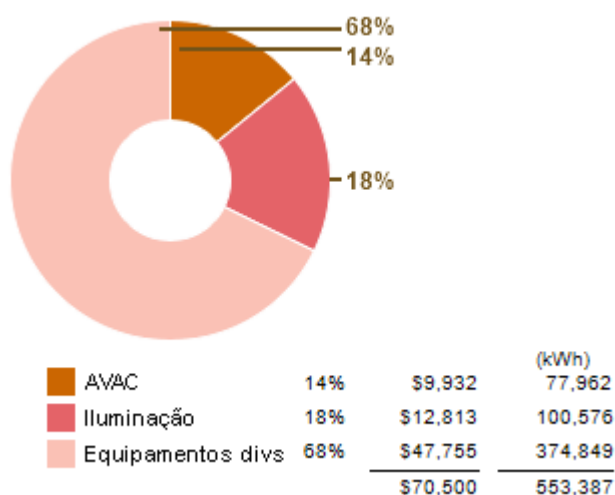
Bomba de aquecimento de sistema dividido compacto 12 SEER/7,7 HSPF



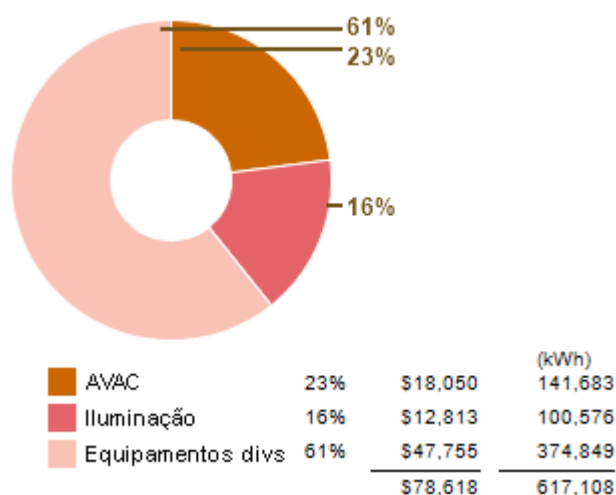
Sistema de *Fan Coil* com 2 tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efíc. 84,5



Distribuição de ar abaixo do piso



Sistema de gás dividido/compacto 12 SEER/0.9 AFUE, 5-11 Ton



Na Tabela 87 está representado a variação do custo energético anual entre os tipos disponíveis de sistemas de climatização do Revit®, em comparação com o sistema utilizado no modelo em condições reais, sendo que os valores positivos indicam o aumento do consumo elétrico em comparação com o modelo em condições reais, e os valores negativos, representam uma diminuição do consumo elétrico.

Tabela 87 – Variação dos custos energéticos entre os tipos de sistema de climatização do Revit®.

Sistema de climatização	Variação do consumo elétrico global (kWh/ano)	Variação do custo energético (€/ano)
Ventilação/Ar-condicionado compacto 11.3 EER, 84,4% aquecimento de caldeira	+ 3.282,00	+ 418,13
Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento HW, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efic. 84,5;	+ 15.875,00	+ 2.022,47
Sistema de <i>Fan Coil</i> 4-tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efic. 84,5	+ 33.567,00	+ 4.276,43
Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento de resistência elétrica, Resfriador 5,96 COP;	+ 45.049,00	+ 5.739,25
Bomba de aquecimento de sistema dividido compacto 12 SEER/7,7 HSPF	+ 13.140,00	+ 1.674,04
Sistema de <i>Fan Coil</i> com 2 tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efic. 84,5	+ 34.107,00	+ 4.345,23
Distribuição de ar abaixo do piso	- 4.8881,00	- 6.227,44
Sistema de gás dividido/compacto 12 SEER/0.9 AFUE, 5-11 Ton	+ 14.840,00	+ 1.890,62

Com base nos resultados obtidos apresentados na Tabela 86, e na comparação realizada na Tabela 87, a única opção de sistema de climatização que mostrou uma redução nos custos energéticos do supermercado, foi a opção de sistema de climatização que somente considera a distribuição de ar abaixo dos pavimentos, sendo assim uma opção que não se aproxima da realidade, e as demais opções mostram um aumento em relação ao consumo elétrico, e que consequentemente resulta no aumento do custo energético anual.

Portanto, entre as opções de sistema de climatização disponíveis no Revit®, a mais eficiente é a que está definida no modelo em condições reais.

### 3.12.7 Análise do potencial de produção de energia elétrica fotovoltaica

Está medida propõe uma análise do potencial de energia solar que poderia ser aproveitada com a instalação de painéis fotovoltaicos, assim diminuindo os custos de energia elétrica do supermercado, visto que na análise de radiação solar acumulada realizada sobre o supermercado, presente na **secção 3.11.1 Análise da radiação solar acumulada sobre o supermercado**, estimou para a estação de verão uma radiação solar acumulada sobre a superfície da cobertura igual a 7.024 Wh/m<sup>2</sup>, e no inverno,

igual a  $966 \text{ Wh/m}^2$ , valores que indicam um potencial para produção de energia fotovoltaica.

Para as versões mais recente do Revit® foi lançando um *plugin* chamado Insight 360, que permite calcular a quantidade de luz natural nos ambientes do edifício, realizar análise solar com a finalidade de estimar a quantidade de radiação solar incidida nas superfícies do edifício e da quantidade de energia que possa ser captada através de painéis fotovoltaicos, e uma nova ferramenta para cálculo de cargas dinâmicas de aquecimento e arrefecimento, chamada EnergyPlus Cloud™.

No serviço *web* do Insight 360, permite que o utilizador faça modificações simples e rápidas de algumas características do edifício que são aplicadas em todo o edifício, como sombreamento nas janelas, eficiência de iluminação, modificações nos painéis solares, e da eficiência do sistema de climatização, e o Insight 360 calcula automaticamente o desempenho do edifício após cada modificação, e mostra os resultados através do custo de energia por unidade de superfície.

O supermercado e os edifícios a sua volta possuem uma distância considerável, e na sua direção sudoeste está localizado o seu estacionamento, assim a possibilidade de sombreamento na cobertura do supermercado foi desconsiderada para a realização da análise solar.

Os painéis fotovoltaicos foram representados no Revit®, como elementos do tipo volume conceptual, dispostos de maneira a evitar o sombreamento das claraboias presentes no supermercado, sendo um total de 77 elementos localizados em áreas que não há equipamentos ou claraboias, com as dimensões de  $1,93 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$ . Assim, a área total de captação dos painéis fotovoltaicos é de aproximadamente  $149 \text{ m}^2$ .

A representação dos 77 painéis fotovoltaicos no modelo Revit® estão ilustrados na Figura 110 com cor amarela, e estão orientados para a direção sul, com a inclinação da cobertura de  $3,5^\circ$ , sendo recomendado que os painéis possuam uma inclinação aproximada do valor da latitude para melhor captação dos raios solares ao longo do ano, que neste caso é  $39,61^\circ$ , logo o valor da inclinação com referência a cobertura é igual a  $43,11^\circ$ .

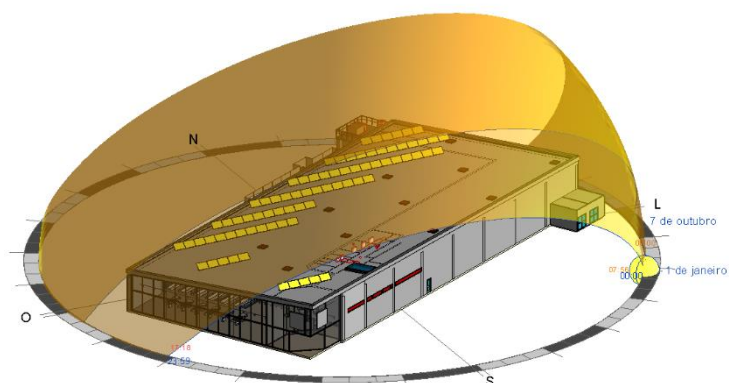


Figura 110 - Área de instalação dos painéis fotovoltaicos.

Para determinar o comportamento da sombra proveniente dos painéis fotovoltaicos foram realizados estudos da trajetória solar, através da função “Estudo Solar”, presente no Revit®, que permite realizar uma análise por meio da representação das sombras projetadas pelos obstáculos. Para o primeiro cenário foi definido o solstício de verão (21 de junho), e analisado os horários mais relevantes em relação ao sombreamento proveniente dos painéis fotovoltaicos e sobre eles.

Portanto, a primeira situação é no amanhecer do solstício de verão, quando os painéis começam a receber luz solar direta, assim através do estudo solar representado na Figura 111, é possível determinar que a partir das 7h07min os painéis fotovoltaicos começam a receber a iluminação solar direta, sendo que alguns painéis próximos da parede voltada para direção nordeste do supermercado ainda possuem uma pequena área de sombra sobre eles.

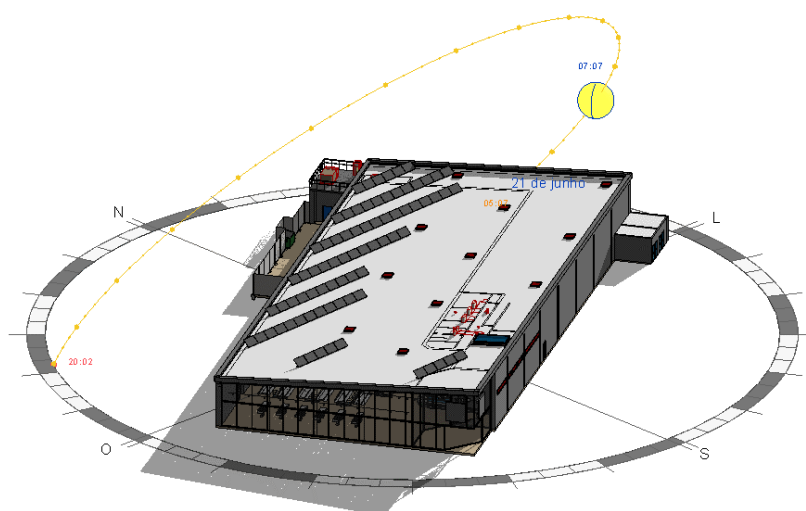


Figura 111 - Sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos às 7h07min no solstício de verão.

No final da tarde, depois das 17h52min, alguns painéis fotovoltaicos próximos da parede voltada para a direção noroeste, começam a possuir áreas de sombra devido a elevação presente no telhado, como ilustrado na Figura 112.

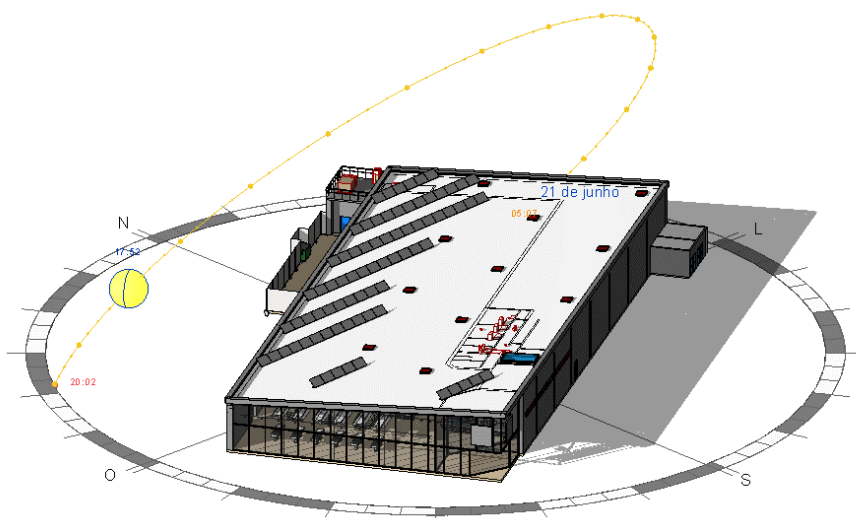


Figura 112 - Sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos às 17h52min no solstício de verão.

A partir das 18h52min, os painéis fotovoltaicos estão completamente encobertos por sombra, como mostra o estudo solar representado na Figura 113.

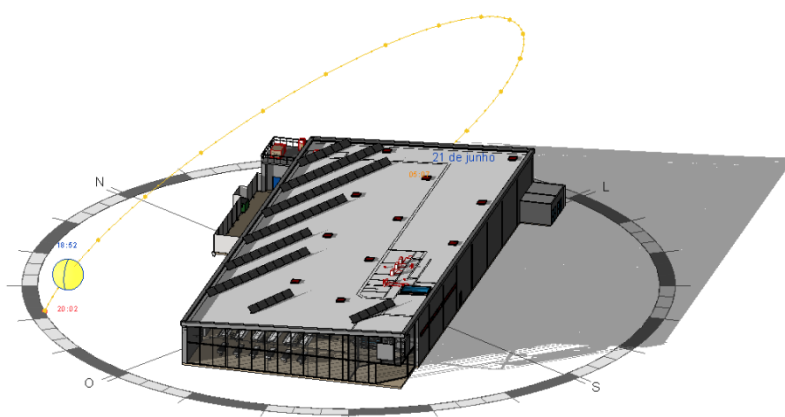


Figura 113 - Sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos às 18h52min no solstício de verão.

Portanto, através do estudo solar realizado, foi possível determinar que no período de verão os painéis fotovoltaicos recebem luz solar das 7h07min às 17h52min, sendo assim aproximadamente 11 horas de produção de energia fotovoltaica.

No entanto, o período mais crítico para a produção de energia fotovoltaica, é durante o período do inverno, devido os valores da altura solar serem menores que os valores no período do verão, sendo quanto menor a altura solar, maior é o comprimento da sombra de um objeto. Considerando, o dia do solstício de inverno (21 de dezembro), a primeira situação analisada foi o período da manhã, às 8h07min, neste horário os painéis fotovoltaicos ainda estão completamente encobertos por sombra, como mostra o estudo solar ilustrado na Figura 114.

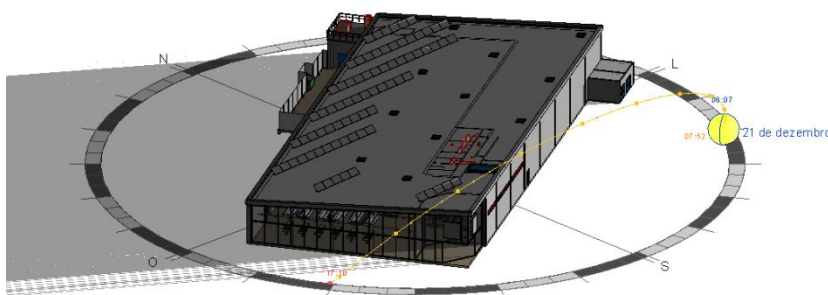


Figura 114 - Sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos solares às 8h7min no solstício de inverno.

Somente a partir das 9h07min, que os painéis fotovoltaicos começam a receber os primeiros raios solares, assim ocorrendo a produção de energia elétrica fotovoltaica, como mostra o estudo solar ilustrado na Figura 115.

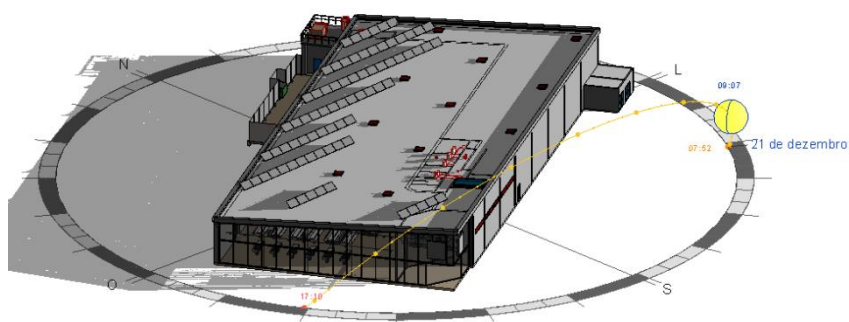


Figura 115 - Sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos solares às 9h07min no solstício de inverno.

Os painéis fotovoltaicos até 16h22min não possuem sombra em suas áreas de captação, como mostra o estudo solar ilustrado na Figura 116.

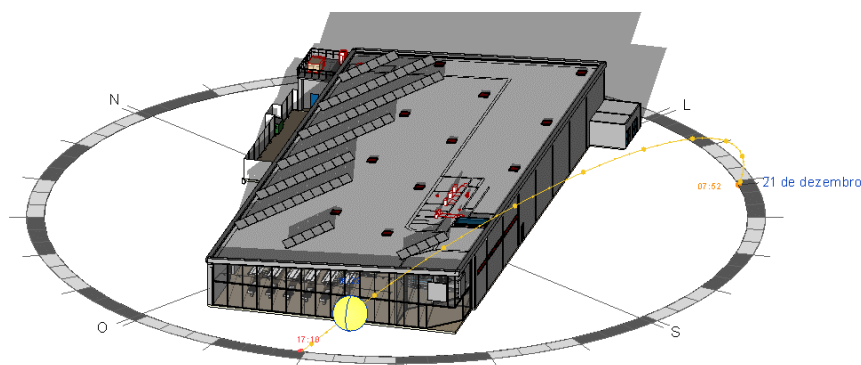


Figura 116 - Sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos às 16h22min no solstício de inverno.

A partir das 16h52min, as primeiras duas filas de painéis fotovoltaicos localizados próximos da fachada envidraçada, estão completamente encobertos pela sombra, e os outros painéis possuem sombra parcialmente nas suas áreas de captação, sendo que nesta situação não há produção energia, como mostra o estudo solar ilustrado na Figura 117.

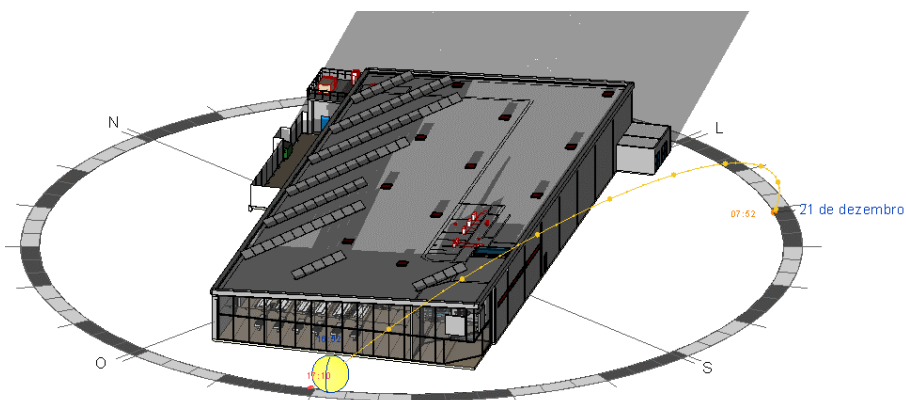


Figura 117 - Sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos às 16h52min no solstício de inverno



Depois das 17h07min, a sombra encobre completamente os painéis fotovoltaicos, como mostra o estudo solar ilustrado na Figura 118.

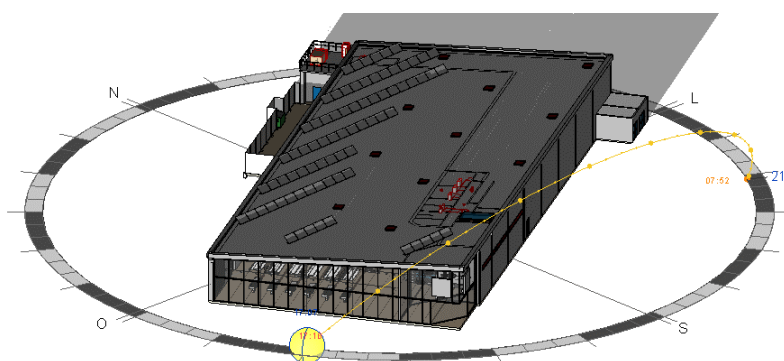


Figura 118 - Sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos às 17h07min no solstício de inverno.

Portanto, no solstício de inverno, os painéis fotovoltaicos produzem energia das 9h07min às 16h22min, ou seja, ocorre a produção de energia solar num período de aproximadamente 7 horas.

A instalação dos painéis fotovoltaicos adiciona uma carga no telhado do supermercado, assim sendo necessário realizar uma análise para determinar se a estrutura suportaria esta carga adicional, e se o telhado iria suportar a força do vento sobre as placas fotovoltaicas, e analisar se os ruídos provenientes do inversor de energia presente no sistema fotovoltaico iria desenvolver problemas com o conforto dos ocupantes.

A função de análise solar do Insight 360 permite escolher três tipos de painéis fotovoltaicos, com eficiências e valores de investimento por Watt de potência instalada diferentes, os quais estão listados a seguir:

- Eficiência igual a 16%, com custo de instalação igual a 2,86 €/Watt de potência instalada;
- Eficiência igual a 18,6%, com custo de instalação igual a 3,06 €/Watt de potência instalada;
- Eficiência igual a 20,7%, com custo de instalação igual a 3,47 €/Watt de potência instalada.

Para a realização da análise foi escolhido a opção do painel fotovoltaico com eficiência igual a 16%, com custo de investimento de 2,86 €/Watt instalado, sendo considerado a área de captura solar igual a 87% da área total de 149 m<sup>2</sup>, ou seja, a área útil de captação solar é de aproximadamente 130 m<sup>2</sup>, o consumo energético anual do supermercado é igual a 620.816,7 kWh, considerou-se um limite de *payback* igual a 50

anos, e a malha de cálculo mais fina possível. Assim, as configurações da análise solar estão representadas na Figura 119.

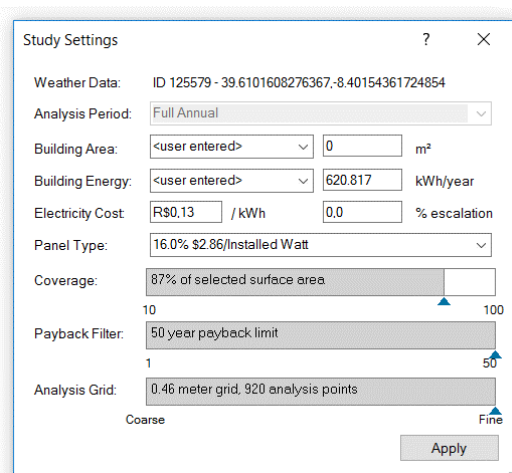


Figura 119 - Configurações da análise solar para painéis fotovoltaicos.

Os resultados obtidos na análise solar para painéis fotovoltaicos estão ilustrados na Figura 120.

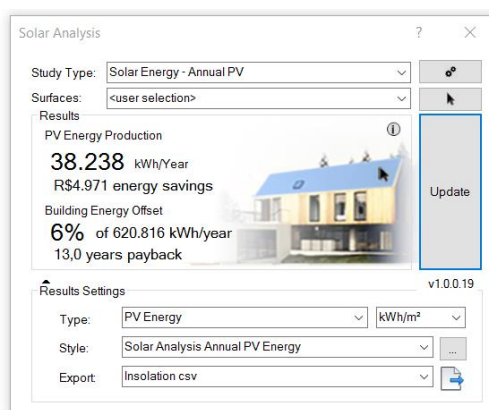


Figura 120 – Produção de energia fotovoltaica simulada pelo Revit®

A análise solar representada na Figura 120, mostrou que é possível produzir **38.238,00 kWh/ano** através da área de 130 m<sup>2</sup> de captação dos painéis fotovoltaicos, com eficiência de 16%, assim a energia produzida corresponde a 6% de toda a energia consumida pelo supermercado, que é de 620.816,7 kWh/ano, com um *payback* de 13 anos, sendo que o custo de investimento é de 2,86 € por Watt de potência instalada. Para melhor exposição dos valores referentes a redução no consumo de energia elétrica, alguns resultados foram representados na Tabela 88.

Tabela 88 - Redução do consumo energético do supermercado através do sistema fotovoltaico.

Consumo total de energia elétrica em condições reais (kWh/ano)	Energia elétrica fotovoltaica anual (kWh/ano)	Balanço global de energia após instalação dos painéis fotovoltaicos (kWh/ano)	Percentagem de redução do consumo elétrico	Redução do custo energético (€/ano)
620.816,7	38.238,00	582.578,7	6,16%	4.970,94

Portanto, a instalação de painéis fotovoltaicos é uma medida interessante que diminui o consumo de energia elétrica no supermercado, com um tempo de investimento de 13 anos, sendo que o tempo de vida estimado dos painéis é de 25 anos. **Portanto, durante aproximadamente 12 anos, o supermercado terá poupado 59.651,28 €, considerando o preço de energia constante durante os 12 anos, e sem considerar os impostos relacionados, como IVA.**

Para validar a produção de energia fotovoltaica estimada pelo Revit® foi utilizado uma planilha Excel® (SCE.ER), disponibilizada pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), para a realização de certificados energéticos, portanto, os resultados obtidos pela SCE.ER são validados. A SCE.ER utiliza os dados climáticos informados na NUTSIII (Tabela 16 e Tabela 17).

Os dados necessários para executar a simulação do sistema fotovoltaico, são a localidade do edifício, a quantidade de painéis fotovoltaicos presentes no sistema, e suas características como dimensão e potência, a orientação dos painéis e inclinação. Diferentemente do Revit®, a SCE.ER permite a modificação das características de alguns equipamentos utilizados no sistema, como a eficiência dos inversores, além de considerar as perdas de eficiência dos painéis solares por variação espectral, perdas resistivas gerais, autoconsumo, quando existir um sistema de ventilação para diminuir a temperatura nos painéis fotovoltaicos, e perdas adicionais, assim o modelo de painel fotovoltaico escolhido foi o Mono X plus da marca LG, o qual possui uma eficiência igual a 17,2%. A produção de energia fotovoltaica calculada pela SCE.ER está representada na Figura 121.

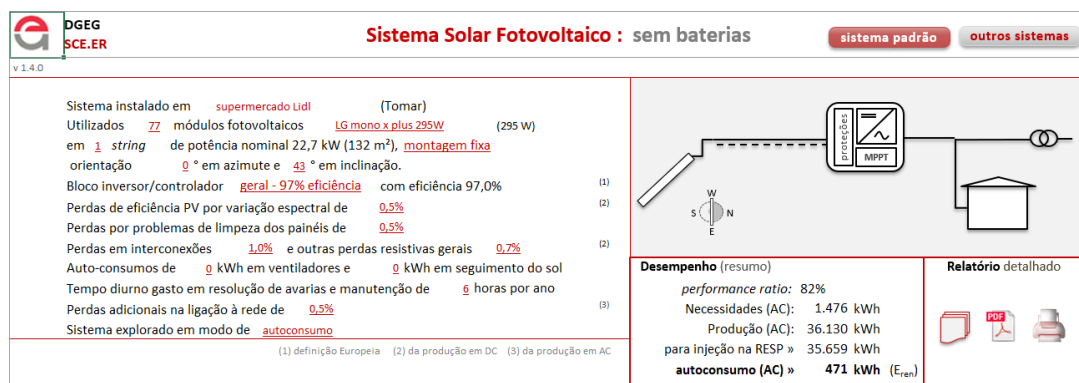


Figura 121 – Produção de energia fotovoltaica simulada pela SCE.ER.

As quantidades de energia fotovoltaicas simuladas no Revit® e na SCE.ER estão representadas na Tabela 89.

Tabela 89 – Comparação entre os valores de energia fotovoltaica simuladas pelo Revit® e SCE.ER.

Simulação	Produção de energia (kWh/ano)
Revit®	38.238,00
SCE.ET	36.130,00
<b>Desvio</b>	<b>5,51%</b>

Em relação a planilha SCE.ER, a quantidade de energia fotovoltaica obtida pelo Revit® foi de 5,51% maior, sendo que o efeito de sombreamento definido na SCE.ER não é igual ao utilizado pelo Revit®, além da SCE.ER considerar as perdas de energias no sistema fotovoltaico, que não são considerados pelo Revit®, assim o desvio em relação ao resultado obtido através do Revit® é aceitável.

# CONCLUSÕES

4.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REVIT®

4.2 CONCLUSÕES

4.3 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS



## 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

### 4.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REVIT®

As vantagens e desvantagens de utilização do *software* Revit® para análise energética em edifícios, com base somente na opinião do autor deste trabalho estão descritas na Tabela 90.

Tabela 90 - Vantagens e desvantagens do Revit® (opinião do autor).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulação dinâmica em nuvem, assim possuindo um tempo de execução mais curto que os outros <i>softwares</i>;</li> <li>• Interface agradável;</li> <li>• Planilhas interligadas diretamente com o modelo 3D e o modelo de energia, assim dando agilidade na modelagem e no preenchimento dos dados de entrada;</li> <li>• Num único programa é possível realizar estudo de iluminação, irradiação solar, análise energética e cálculo de carga térmica detalhada;</li> <li>• Tempo de simulação rápido comparado com outros <i>softwares</i>;</li> <li>• As vantagens de utilizar a metodologia BIM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é possível especificar os equipamentos presentes HVAC no projeto para realização das simulações energéticas;</li> <li>• As propriedades físicas dos materiais padronizados, como vidros e portas, precisam ser especificadas duas vezes caso se deseja realizar uma análise de energia e um estudo luminotécnico;</li> <li>• Não é possível definir as propriedades de vidros e portas para análise energética, apenas as opções disponíveis pelo Revit®, descritas no ANEXO 4 para vidros, e no ANEXO 5 para portas;</li> <li>• Não é possível adicionar resistência superficial nos elementos, como parede, piso, cobertura e janelas, de maneira simples;</li> <li>• Não é possível uma função de estudo luminotécnico para iluminação artificial, como planos de cálculos, apenas através de vistas 3D;</li> </ul>

- Permite definir os perfis de ocupação, e de utilização do sistema de iluminação e de outros equipamentos elétricos para cada ambiente, mas não é considerado na análise de energia;
- Não informa de maneira clara a localização dos erros na análise energética;
- Erros constantes na criação do modelo de energia, com desconsideração de alguns ambientes ou a mistura de informações presentes entre os ambientes tipo “Sala” e “Espaço”.

## 4.2 CONCLUSÕES

Os estudos abordados neste trabalho mostraram que para realizar otimizações energéticas em edifícios, neste caso específico, num supermercado, necessita-se de conhecimentos técnicos de diversas áreas, como arquitetura, iluminação e sistema de climatização, com a finalidade de se propor medidas que envolvam os elementos construtivos, o sistema de iluminação e de climatização de tal maneira que ocorra diminuições relevantes dos consumos energéticos, sem que comprometa o funcionamento do edifício e/ou o conforto dos ocupantes.

As medidas de otimização energética que resultaram em poupanças energéticas estão representadas na Tabela 91.



Tabela 91 – Medidas de otimização energética eficazes em ordem de poupança energética.

Medidas eficazes	Poupança energética (kWh/ano)	Redução do custo energético (€/ano)
Medida 2 – Conjugação tubo solar e iluminação artificial com potência igual 25% da nominal	67.864,00	8.645,88
Medida 1 – sistema de iluminação com potência igual a 50% da nominal	45.355,00	5.778,23
Sistema de painéis fotovoltaicos	38.238,00	4.970,94
Medida 7 – temperatura de aquecimento igual a 20°C e arrefecimento igual a 27°C somente na área de vendas (Utilizando Trace® 700)	16.295,00	2.076,00
Medida 2 - <i>Large double-glazed windows - reflective coating</i>	9.596,00	1.222,00
<i>Brise-soleils</i> horizontais	5.898,20	751,40
<i>Brise-soleils</i> verticais	4.008,24	510,65
Coeficiente das paredes externas igual a 0,70 W/m <sup>2</sup> °C	2.643,00	336,00
Medida 3 - <i>Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass</i>	3.061,00	390,00
Sensores de presença	2.358,00	300,40
Medida 2 – temperatura de aquecimento igual a 18°C e arrefecimento igual a 25°C (Utilizando Trace® 700)	148,00	18,85
Medida 1 – temperatura de aquecimento igual a 18°C e arrefecimento igual a 25°C somente na área de vendas (Utilizando Trace® 700)	99,00	12,62

Apesar das medidas que propõem a substituição dos elementos envidraçados da fachada voltada à direção sudoeste resultarem em poupanças energéticas consideráveis, não se recomenda a substituição dos elementos envidraçados devido a

diminuição significativa da iluminação natural na zona de vendas, pois os elementos envidraçados propostos possuem pequenos valores de transmissão de luz visível.

As medidas que propõem alterações das temperaturas de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização são as únicas neste trabalho que não necessitam de investimentos. A medida 7 resulta na maior poupança energética entre as demais medidas que propõem a alteração das temperaturas dos sistemas de climatização, entretanto, ela eleva a temperatura de arrefecimento de 25°C para 27°C, assim tornando os ambientes internos do supermercado mais quentes, principalmente durante o verão. Desse modo, o ambiente da zona de vendas mais quente pode causar problemas em relação a conservação dos alimentos, além de poder prejudicar o conforto térmico dos ocupantes. Portanto, caso se aplique esta medida, é necessário analisar o impacto do aumento da temperatura ambiente do supermercado.

As medidas de otimização energética que possuem o estudo económico referente ao tempo de retorno de investimento simples (*payback*) estão representadas na Tabela 92.

Tabela 92 - Medidas eficazes com tempo de retorno do investimento (*payback*).

Medida	<i>Payback</i> (anos)	Poupança energética (kWh/ano)
Medida 2 – Conjugação tubo solar e iluminação artificial com potência igual 25% da nominal	1,29	67.864,00
Sistema de painéis fotovoltaicos	13,00	38.238,00

A estratégia de *daylighting* de conjugar o sistema de iluminação com a instalação de tubos solares na zona de vendas, medida 2, resultou na maior poupança energética encontrada neste trabalho, e de possuir o tempo de retorno do investimento mais curto do que o do sistema de painéis fotovoltaicos, além das vantagens relacionadas a iluminação natural, como melhoria no conforto dos ocupantes, e melhor representação das cores, assim tornando os produtos presentes na zona de vendas mais atrativos mais atrativo aos clientes.

Em relação as proteções solares exteriores propostas, foi demonstrado durante os seus respetivos dimensionamentos que o modelo das *brise-soleils* horizontais possui o melhor desempenho referente ao controle de iluminação natural do que o modelo das *brise-soleils* verticais, para vãos envidraçados ou aberturas que permitem a entrada de luz natural voltados à direção sul.

Portanto, com base nos estudos realizados neste trabalho, conclui-se que há possibilidade e viabilidade económica de realizar melhorias que diminuam o consumo

energético do supermercado localizado em Tomar, como a instalação de tubos solares na zona de vendas e da produção de energia elétrica fotovoltaica, sendo que as demais medidas de otimização energética necessitam de estudos complementares para serem implementadas, como estudos de viabilidade económica e/ou estudos luminotécnicos. Para simulações dinâmicas em que o utilizador necessite de flexibilidade ou obtenção de resultados específicos, recomenda-se a utilização de *softwares* específicos para simulação dinâmica, como o Trace®700 e o EnergyPlus®, devido algumas limitações presentes no *software* Revit® e abordadas neste trabalho, como de não permitir que o utilizador especifique os equipamentos de climatização.

### 4.3 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Com a realização deste trabalho foi possível propor algumas sugestões de trabalhos futuros, as quais estão listadas a seguir:

- Validação dos resultados obtidos neste trabalho através da execução de simulações dinâmicas em outros *softwares*;
- Realização de estudos luminotécnicos com diferentes parâmetros de céu, dia e hora, com a finalidade de melhorar o valor da redução da potência do sistema de iluminação, devido a instalação de tubos solares;
- Dimensionamentos de novos modelos de proteções solares exteriores, e a combinações entre eles;
- Aplicação de outras técnicas de *daylighting*, como claraboias com vidros prismáticos;
- Combinar as medidas de otimização energética eficazes estabelecidas neste trabalho, e analisar os seus respetivos impactos no consumo energético do supermercado;
- Realizar estudo luminotécnico com o tubo solar da Solatube®, modelo 750DS, o qual possui um fluxo luminoso menor no verão, mas maior durante o inverno comparado com o modelo 330DS;
- Estudo da viabilidade de implementar um sistema de iluminação DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*), com sensores de luminosidade e de movimento.



# BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] L. M. Farias e M. A. Sellito, «Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras», *Revista Liberato*, vol. 12, n. 17, Novo Hamburgo, pp. 7–16, Jun-2011.
- [2] A. S. C. Veiga, «Metodologias para a classificação de edifícios de balanço de energia nulo (NZEB) aplicadas a um edifício residencial», Universidade de Lisboa, 2015.
- [3] R. Lewney, S. Perkins, K. Fragkiadakis, L. Paroussos, e P. Capros, «EU energy trends and macroeconomic performance Case study – Energy Resilience and Vulnerability in the EU and Other Global Regions», 2017.
- [4] Comissão Europeia, «Imports and secure supplies - European Commission», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/imports-and-secure-supplies>. [Acedido: 02-Abr-2017].
- [5] Comissão Europeia, «Estratégia europeia de segurança energética», *SWD(2014) 330 Final*, pp. 1–27, 2014.
- [6] Direção-Geral da Comunicação (Comissão Europeia), «Compreender as políticas da União Europeia: Energia». Bruxelas, pp. 1–16, 2014.
- [7] Agência Portuguesa do Ambiente, «APA - Políticas & Alterações Climáticas & Resposta Internacional e Europeia & Protocolo de Quioto». [Em linha]. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>. [Acedido: 02-Abr-2017].
- [8] Parlamento Europeu e do Conselho, «Diretiva 2012/27/UE», *J. Of. da União Eur.*, pp. 1–56, 2012.
- [9] Comissão Europeia, «Um quadro político para o clima e a energia no período de 2020 a 2030», *COM(2014) 15 Final*, pp. 1–21, 2014.
- [10] União Europeia, «EUROPA - A UE por temas - Energia - Balanço da situação». [Em linha]. Disponível em: [https://europa.eu/european-union/topics/energy\\_pt](https://europa.eu/european-union/topics/energy_pt). [Acedido: 12-Abr-2017].
- [11] Portal do Estado do Ambiente, «Energias renováveis | Estado do Ambiente em Portugal», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://rea.apambiente.pt/node/104>. [Acedido: 04-Jun-2017].
- [12] União Europeia, «Eurostat - Tables, Graphs and Maps Interface (TGM) graph - Energy dependence - Portugal and EU». [Em linha]. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=tsdcc310&language=en&toolbox=data>. [Acedido: 12-Abr-2017].
- [13] República Portuguesa, «Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética».

- [Em linha]. Disponível em: <http://www.pnaee.pt/pnaee>. [Acedido: 02-Abr-2017].
- [14] Presidência do Conselho de Ministros, «Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013», *Diário da República*, pp. 2022–2091, 2013.
- [15] C. R. de Abreu, «Certificação Energética de um Edifício de Serviço ao abrigo do novo regulamento - Caso prático de um Hipermercado», Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [16] Pordata, «PORDATA - Ambiente de Consulta», 2015. [Em linha]. Disponível em: <http://www.pordata.pt/DB/Europa/Ambiente+de+Consulta/Tabela>. [Acedido: 12-Abr-2017].
- [17] Ministério da Obras Públicas Transportes e Comunicação, «Decreto N.º 40/90, de 6 de fevereiro», *Diário da República*, vol. 1.ª série, n. 31, pp. 490–504, 1990.
- [18] T. e C. Ministério das Obras Públicas, «Decreto-Lei n.º 156/92 regulamento da qualidade dos sistemas energéticos de climatização dos edifícios», *Diário da República*, vol. 173, pp. 3534–3548, 1992.
- [19] RSECE, «Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)», *Diário da República N.º 105, I série-A*, p. 2114–2129, Lisboa, Portugal (in Portuguese)., 1998.
- [20] Parlamento Europeu e do Conselho, «Diretiva 2002/91/CE», *J. Of. das Comunidades Eur.*, pp. 65–71, 2002.
- [21] Ministério Da Economia E Da Inovação, «Decreto-Lei n.º 78/2006», *Diário da República*, vol. 67, n. A, pp. 2–6, 2006.
- [22] Ministério das Obras Públicas, «O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)-Decreto-Lei n.º 79/2006», *Diário da República*, n. 4 de Abril, p. 53 (2416-2468), 2006.
- [23] Ministério das Obras Públicas, «Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril», *Diário da República*, pp. 2468–2513, 2006.
- [24] Gestluz Consultores, «Centro de Competências em Sustentabilidade do Habitat - Diagnóstico Estratégico».
- [25] U. Europeia, «Directiva 2010/31/UE», *J. Of. da União Eur.*, pp. 13–35, 2010.
- [26] P. Diretora et al., «Decreto-Lei n.º 118/2013», pp. 4988–5005, 2012.
- [27] Assembleia da República, «Lei n.º 58/2013», *Diário da República*, vol. 159, pp. 4923–4926, 2013.
- [28] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território E Energia, «Portaria n.º 349-A/2013», *Diário da República*, vol. 232, p. 6624(13-17), 2013.
- [29] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Despacho n.º 7113/2015», *Diário da República*, pp. 17351–17358, 2015.
- [30] Direção-Geral de Energia e Geologia Declaração, «Declaração de retificação n.º



- 769/2015», *Diário da República*, p. 2015, 2015.
- [31] Ministério do ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Portaria n.º 115/2015 (Alteração à Portaria n.º 349 -A/2013)», *Diário da República*, vol. 80, pp. 2069–2071, 2015.
- [32] Economia, «Portaria n.º 39/2016», *Diário da República*, pp. 705–706, 2016.
- [33] «Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro», *Diário da República*, vol. 232, n. 1, p. 6624, 2013.
- [34] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Portaria n.º 379-A/2015», *Diário da República*, n. 1, p. 9196, 2015.
- [35] Economia, «Portaria n.º 319/2016», *Diário da República*, n. 1, pp. 4723–4725, 2016.
- [36] M. De Castro, «Portaria n.º 349-C/2013 Ministério Do Ambiente , Ordenamento Do Território E Energia», n. 20, pp. 20–39, 2013.
- [37] J. M. B. de Rego, «Declaração de Retificação n.º 4/2014», *Diário da República*, n. 1, pp. 762–763, 2014.
- [38] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Portaria n.º 405/2015», *Diário da República*, n. 1, pp. 9568–9569, 2014.
- [39] Ministério Da Economia e do Emprego, «Portaria n.º 349-D/2013», *Diário da República*, n. 40, pp. 40–73, 2013.
- [40] J. M. B. de Rego, «Declaração de Retificação n.º 3/2014», *Diário da República*, p. 762, 2014.
- [41] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Despacho n.º 8892/2015», *Diário da República*, pp. 22501–22502, 2015.
- [42] Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia, «Portaria n.º 17-A/2016», *Diário da República*, vol. 1.ª série, n. 24, p. 378, 2016.
- [43] Portaria n. 353-A/2013, «Portaria n. 353-A Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) - Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior)», *Diário da República*, vol. 1.ª série, n. 2, pp. 2–9, 2013.
- [44] C. M. R. Gonçalves, «Declaração de Retificação n.º 2/2014», *Diário da República*, pp. 761–762, 2014.
- [45] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Portaria n.º 66/2014», *Diário da República*, pp. 1840–1844, 2014.
- [46] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013», *Diário da República*, p. 35088, 2013.
- [47] Economia, «Despacho (extrato) n.º 6469/2016», *Diário da República*, pp. 15344–15348, 2016.

- [48] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013», *Diário da República*, p. 35088, 2013.
- [49] P. H. G. Cabral, «Declaração de retificação n.º 129/2014», *Diário da República*, p. 4152, 2014.
- [50] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013», *Diário da República*, p. 35088, 2013.
- [51] Ministério do ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Despacho n.º 15793-F/2013, de 3 de dezembro», *Diário da República*, p. 35088(26-31), 2013.
- [52] P. H. G. Cabral, «Declaração de retificação n.º 130/2014», *Diário da República*, p. 4153, 2014.
- [53] Ministério do ambiente Ordenamento do Território e Energia, «Despacho n.º 15793-G/2013 de 3 de dezembro», *Diário da República*, p. 35088(32-35), 2013.
- [54] M. da E. e do Emprego, «Despacho n.º 15793-H/2013 de 3 de dezembro», *Diário da República*, vol. 234, n. 36, pp. 36–40, 2013.
- [55] C. M. A. P. Almeida, «Despacho n.º 14985/2015», *Diário da República*, pp. 36506–36507, 2015.
- [56] Economia, «Despacho n.º 3156/2016», *Diário da República*, pp. 7221–7222, 2016.
- [57] D. da República, «Despacho n.º 15793-I», *Diário da República*, 2.ª série — N.º 234, n. 41, pp. 41–54, 2013.
- [58] P. H. G. Cabral, «Declaração de Retificação n.º 128/2014», *Diário da República*, p. 4152, 2014.
- [59] Economia, «Despacho n.º 3777/2017», *Diário da República*, p. 8468, 2017.
- [60] M. D. E. E. Do Emprego, «Despacho n.º 15793-J/2013», *Diário da República*, n. 55, pp. 55–57, 2013.
- [61] Ministério Da Economia E Do Emprego, «Despacho n.º 15793-K/2013, de 3 de dezembro», *Diário da República*, vol. 2.ª série, n. 234, pp. 58–87, 2013.
- [62] P. H. G. Cabral, «Declaração de retificação n.º 127/2014», *Diário da República*, p. 4152, 2014.
- [63] Direção-Geral de Energia e Geologia, «Despacho n.º 15793-L/2013», *Diário da República*, vol. 234, n. 88, p. 35088, 2013.
- [64] Economia, «Despacho n.º 6470/2016», *Diário da República*, p. 15348, 2016.
- [65] L. C. Silva, «Simulação de Processos», *Universidade Federal do Espírito Santo*, 2005. [Em linha]. Disponível em: <http://www.agais.com/simula.htm>. [Acedido: 05-Ago-2017].
- [66] GoldSim Technology Group, «Dynamic Simulation and Supply Chain Management», 2007.

- [67] L. Viali, «Tipos de Modelos de Simulação».
- [68] L. Roriz, *Climatização - Conceção, Instalação e Condução de Sistemas*, 2.<sup>a</sup> ed. Edições Orion, 2007.
- [69] P. M. F. Moço, «Análise de Sensibilidade na Simulação Dinâmica de um Grande Edifício Escolar Existente», Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- [70] D. J. M. da Silva, «Simulação térmica multizona de um centro social no âmbito do RSECE: Análise de várias soluções AVAC», Universidade do Minho, 2014.
- [71] J. F. D. N. Cartas, «Simulação dinâmica de um edifício de escritórios com os programas EnergyPlus e Trace 700», Universidade Técnica de Lisboa, 2011.
- [72] J. de J. da C. Gomes, «Simulação dinâmica detalhada de um grande edifício no âmbito do RSECE», Universidade do Moinho, 2012.
- [73] A. R. Siopa, «Eficiência energética e simulação dinâmica», Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- [74] L. F. C. Masotti, «ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO E DO IMPACTO DO BIM NO BRASIL», Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- [75] D. G. Simões, «Manutenção de edifícios apoiada no modelo BIM», Instituto Técnico de Lisboa, 2013.
- [76] J. C. Pacher, «Seus novos e incríveis projetos com a plataforma BIM».
- [77] M. Kassem e S. R. L. de Amorim, «BIM - Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia», Brasília, 2015.
- [78] National Institute of Building Sciences, «National BIM Guide for Owners - National Institute of Building Sciences». [Em linha]. Disponível em: <https://www.nibs.org/?nbgo>. [Acedido: 17-Ago-2017].
- [79] K. M. Coelho, «A Implementação e o Uso da Modelagem da Informação da Construção em Empresas de Projeto de Arquitetura», Universidade de São Paulo, 2017.
- [80] J. G. A. Freitas, «Metodologia BIM – Uma nova abordagem , uma nova esperança», Universidade da Madeira, 2014.
- [81] R. Giollo, M. J. F. Silva, e P. Couto, «REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO PÚBLICO: CONTRIBUTO PARA A INTEROPERABILIDADE ENTRE BIM E PRONIC», 1<sup>o</sup> Congr. *Port. Build. Inf. Model.*, pp. 451–461, 2016.
- [82] Magicad, «BIM White Paper», 2014.
- [83] C. A. Jacoski e R. Lamberts, «A interoperabilidade como fator de integração de projetos na construção civil», *II Work. Nac. Gestão do Process. Proj. na Construção Edifícios, Porto Alegre*, pp. 1–7, 2002.
- [84] ESTONIAN CENTRE FOR STANDARDISATION, «ISO 29481-1:2016 - Estonian Centre for Standardisation». [Em linha]. Disponível em: <https://www.evs.ee/products/iso-29481-1-2016>. [Acedido: 18-Ago-2017].

- [85] F. Nunes e F. V. de O. César, «BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL - IMPLANTAÇÃO, VANTAGENS E DESVANTAGENS», Universidade Católica de Brasília, 2013.
- [86] A. G. MOTTER e H. Q. CAMPELO, «IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM EM ESCRITÓRIOS DE PROJETOS NA REGIÃO DE CURITIBA - ESTUDO DE CASOS», Universidade Federal do Paraná, 2014.
- [87] Bouygues Construction, «Building Before Building: The BIM Revolution», 2014.
- [88] R. F. O. Rodrigues, «OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES DIRETAS COM RECURSO À METODOLOGIA BIM», Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2014.
- [89] Autodesk, «Annual Report: Notice of annual meeting and proxy statement», 2017.
- [90] C. R. de Brito e T. Takii, «MODELAGEM DE PROJETOS ELÉTRICOS USANDO A TECNOLOGIA BIM», Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- [91] Autodesk, «Ajuda: Sobre os diferentes tipos de famílias». [Em linha]. Disponível em: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2017/PTB/?guid=GUID-403FFEAE-BFF6-464D-BAC2-85BF3DAB3BA2>. [Acedido: 19-Ago-2017].
- [92] M. S. Jarić, N. J. Budimir, M. Pejanović, e I. Svetel, «A review of Energy Analysis Simulation Tools», *Int. Work. Conf. "Total Qual. Manag. – Adv. Intell. Approaches"*, n. August 2016, 2013.
- [93] A. R. Rech, «Experiência do uso de REVIT em Projeto de Estrutura», 2011.
- [94] Autodesk, «Manual Autodesk Revit 2017», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2017/PTB/>. [Acedido: 19-Ago-2017].
- [95] Autodesk, «Green Building Studio and Standard 140 | Insight 360». [Em linha]. Disponível em: <http://blogs.autodesk.com/insight/green-building-studio-and-standard-140/>. [Acedido: 25-Jul-2017].
- [96] T. Mousiadis e S. Mengana, «Parametric BIM: Energy Performance Analysis Using Dynamo for Revit», Royal Institute of Technology, 2016.
- [97] Autodesk, «Assumptions and Default Values in GBS | Search | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-Help/files/GUID-051B623C-279A-400A-BDE0-06BB54FED673-htm.html>. [Acedido: 06-Out-2017].
- [98] Autodesk, «Passive Design Strategies | Sustainability Workshop». [Em linha]. Disponível em: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/passive-design-strategies>. [Acedido: 27-Set-2017].
- [99] N. Bhatt, «Buildings Using Passive Design Strategies for Energy Efficiency - Climate CoLab». [Em linha]. Disponível em: <https://climatecolab.org/contests/2014/buildings/c/proposal/1309226>. [Acedido: 27-Set-2017].

- [100] P. B. Andrade, «Eficiência Energética em Edifícios: Oportunidades e Desafios», Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [101] G. D. A. Faia, «Daylighting | WBDG Whole Building Guia de Design», U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program (FEMP), 2016. [Em linha]. Disponível em: <https://www.wbdg.org/resources/daylighting>. [Acedido: 30-Jan-2017].
- [102] Autodesk, «Daylighting | Sustainability Workshop», 2015. [Em linha]. Disponível em: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/daylighting>. [Acedido: 30-Jan-2017].
- [103] L. R. Bachman, «Integration Strategies for Natural and Artificial Lighting (2004)». 2004.
- [104] M. Kischkoweit-Lopin, «An overview of daylighting systems», *Elsevier*, vol. 73, n. 2, pp. 77–82, 2002.
- [105] Chatron, «Catálogo Geral - Chatron», Vale de Cambra, 2017.
- [106] Polirigido, «Perguntas Frequentes - Solatube - Iluminação Natural - Produtos | Polirigido». [Em linha]. Disponível em: <http://www.polirigidoeco.com/pt/produtos/iluminacao-natural/solatube/perguntas-frequentes>. [Acedido: 05-Out-2017].
- [107] J. P. C. G. DA Mota, «CANDEEIROS SOLARES –REVISÃO TECNOLÓGICA E ESTUDO DE CASO», Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [108] Velux, «Catálogo Velux - Túneis de luz».
- [109] Velux, «Túneis de Luz VELUX para coberturas planas - com tubo rígido ou tubo flexível», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.velux.pt/produtos/tunel-de-luz/tunel-de-luz-para-cobertura-plana>. [Acedido: 01-Out-2017].
- [110] Velux, «Túneis de Luz VELUX para coberturas inclinadas - com tubo rígido ou tubo flexível», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.velux.pt/produtos/tunel-de-luz/tunel-de-luz-para-cobertura-inclinada>. [Acedido: 01-Out-2017].
- [111] Velux, «Acessórios para o Túnel de Luz VELUX», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.velux.pt/produtos/tunel-de-luz/acessorios-para-tunel-de-luz>. [Acedido: 01-Out-2017].
- [112] Solatube, «History | Daylighting Systems & LED Lighting Systems | Solatube», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.solatube.com/about/solatube-history>. [Acedido: 02-Out-2017].
- [113] D. Rillie, «Catálogo - Solatube».
- [114] Solatube, «Brighten Up | Sustainable Commercial Daylighting Systems | Solatube». [Em linha]. Disponível em: <http://www.solatube.com/commercial/brighten-up>. [Acedido: 05-Out-2017].
- [115] Solatube, «Solamaster | Solatube», 2017. [Em linha]. Disponível em:

- <http://www.solatube.pt/produtos/solamaster#>. [Acedido: 05-Out-2017].
- [116] Solatube, «Desempenho do Solatube 750DS».
- [117] Solatube, «Solatube Daylighting Systems Spacing Criteria».
- [118] C. A. P. Santos e L. Matias, «Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios», Lisboa, 2006.
- [119] Lennox, «Application Guide - Air cooled rooftop packaged unit - Lennox».
- [120] Daikin, «Air Conditioning Technical Data».
- [121] Autodesk, «Analytical Space Resolution | Revit Products | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-A68ABA83-4B82-4EF7-AF6B-38EADC36794E-htm.html>. [Acedido: 10-Set-2017].
- [122] Autodesk, «Analytical Surface Resolution | Revit Products | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-3FAD7687-575C-43B4-B21A-D6085DF72912-htm.html>. [Acedido: 10-Set-2017].
- [123] Autodesk, «Energy Settings | Revit Products | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-36B2F66A-E423-4D9C-B266-3ABA57573F4A-htm.html>. [Acedido: 10-Set-2017].
- [124] Autodesk, «Advanced Energy Settings | Revit Products | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-24528ACB-E82C-410F-BEB7-24BDBA6D0769-htm.html>. [Acedido: 10-Set-2017].
- [125] I. Edition, 2009 *ashrae*® *handbook*, vol. 30329, n. 404. 2009.
- [126] Autodesk, «Fatores de desempenho da construção | Produtos Revit | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/PTB/Revit-Analyze/files/GUID-C9FEEA21-770F-472B-B2C7-0C9A54125800-htm.html>. [Acedido: 05-Set-2017].
- [127] Autodesk, «Carga mensal de aquecimento | Produtos Revit | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/PTB/Revit-Analyze/files/GUID-35E67E58-B8F7-491C-A8AC-748E90A33E3F-htm.html>. [Acedido: 05-Out-2017].
- [128] Autodesk, «Solar Radiation Metrics | Sustainability Workshop». [Em linha]. Disponível em: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/solar->



- radiation-metrics. [Acedido: 05-Set-2017].
- [129] M. S. de J. Palhinha, «Sistemas de sombreamento em arquitectura: Proposta de um novo método de concepção e dimensionamento», Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- [130] R. Lamberts *et al.*, «Desempenho térmico de edificações», Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
- [131] N. R. Louçano, «Eficiência energética em edifícios: Gestão do sistema iluminação», 2009.
- [132] S. M. L. Zeilmann, «Iluminação Natural por Aberturas Zenitais com Elementos de Controle», Universidade de Santa Catarina, 1999.
- [133] P. P. Willig, «Capítulo IV Aplicações de sistemas de iluminação», 1970.
- [134] Autodesk Knowledge Network, «Sky Models & Irradiance Values | Search | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-PerformanceStudies/files/GUID-A93DC4A2-7017-4191-BFE0-915CCEC4D3AD-hm.html>. [Acedido: 05-Set-2017].
- [135] Autodesk, «Building Operating Schedules | Revit Products | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/Revit/files/GUID-D7783A4F-2445-44B6-AD91-707348CE5130-hm.html>. [Acedido: 06-Out-2017].
- [136] J. Iwashita, «Capítulo II - Sistemas de iluminação e fotometria», *O Set. Elétrico*, pp. 34–36, 2008.
- [137] Lumidec, «Informações Técnicas».
- [138] Autodesk, «HVAC Systems | Revit Products | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-38A9EB5B-8631-43B4-9AD6-6F532BC860D8-hm.html>. [Acedido: 05-Out-2017].
- [139] Autodesk, «LEED sDA & ASE studies with Insight Revit 2017 plugin | Insight 360». [Em linha]. Disponível em: <http://blogs.autodesk.com/insight/leed-sda-ase-studies-with-insight-revit-2017-plugin/>. [Acedido: 05-Set-2017].
- [140] Autodesk, «Solar Access with Insight Revit 2017 plugin | Insight 360». [Em linha]. Disponível em: <http://blogs.autodesk.com/insight/solar-access-with-insight-revit-2017-plugin/>. [Acedido: 05-Set-2017].
- [141] Autodesk, «Lighting Analysis Workflow | Search | Autodesk Knowledge Network». [Em linha]. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-PerformanceStudies/files/GUID-3789945D-635E-43D6-AB5C-2989009EDDDE-hm.html>. [Acedido: 05-Set-2017].
- [142] K. Van Den Wymelenberg e A. Mahic, «Annual Daylighting Performance Metrics,

- Explained | Architectural Lighting Magazine | Daylighting, Performance Metrics, Codes and Standards, Lighting Design, Lighting Software, Lighting Specifications, Illuminating Engineering Society (IES)», 2016. [Em linha]. Disponível em: [http://www.archlighting.com/technology/annual-daylighting-performance-metrics-explained\\_o](http://www.archlighting.com/technology/annual-daylighting-performance-metrics-explained_o). [Acedido: 06-Set-2017].
- [143] A. B. Frota e S. R. Schiffer, *Manual de Conforto Térmico*, 5.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Livros Studio Nobel.
- [144] Acquaticos, «ACQUATICOS: TEMPERATURAS DE COR NA ESCALA KELVIN». [Em linha]. Disponível em: <http://acquaticos.blogspot.pt/2010/06/temperaturas-de-cor-na-escala-kelvin.html>. [Acedido: 05-Out-2017].
- [145] VSC - Iluminação LED, «Iluminação de Galpão - Entenda como Economizar com Luminárias LED». [Em linha]. Disponível em: <http://iluminacaoledvsc.com.br/iluminacao-de-galpao-entenda-como-economizar-com-luminarias-led/>. [Acedido: 05-Out-2017].



# ANEXOS

## 6.1 ANEXO 1

6.1.1 Envolventes opacas externas do supermercado

## 6.2 ANEXO 2

6.2.1 Envolventes opacas internas do supermercado

## 6.3 ANEXO 3

6.3.1 Dados de condutibilidade, resistência térmica e coeficiente de transmissão de térmica

## 6.4 ANEXO 4

6.4.1 Tipos de Vidros Revit®

## 6.5 ANEXO 5

6.5.1 Valores analíticos para os elementos do tipo porta

## 6.6 ANEXO 6

6.6.1 Certificado energético do supermercado

## 6.7 ANEXO 7

6.7.1 Relatório da simulação de energia gerado pelo Revit® em condições reais

## 6.8 ANEXO 8

6.8.1 Tabelas de operação do edifício padronizadas presentes no Revit®

## 6.9 ANEXO 9

6.9.1 Conceitos fotométricos relevantes utilizados nos estudos luminotécnicos

**6.10 ANEXO 10**

6.10.1 Tipos de sistemas de climatização do Revit®

**6.11 ANEXO 11**

6.11.1 Períodos e tempo da Análise Solar utilizando o Insight 360

**6.12 ANEXO 12**

6.12.1 Resultados da análise da radiação solar acumulada

**6.13 ANEXO 13**

6.13.1 Análise da luz natural no Revit®

## 6 ANEXOS

Os anexos contêm documentos, tabelas e relatórios utilizados na concepção deste trabalho, sendo assim, importantes e necessários para um melhor entendimento dos estudos realizados.

### 6.1 ANEXO 1

#### 6.1.1 Envoltentes opacas externas do supermercado

**Tipo 1 – PE Sudeste:** parede exterior com espessura total de 0,67 m constituída do interior para o exterior, por uma camada de reboco tradicional com 2 cm de espessura, densidade de 1.900 kg/m<sup>3</sup>, resistência térmica de 0,154 m<sup>2</sup>°C/W; bloco térmico Zenith com espessura de 15 cm, densidade de 1.200 kg/m<sup>3</sup>, resistência térmica igual a 0,5769 m<sup>2</sup>°C/W; caixa de ar, com espessura 30 cm, resistência térmica de 0,18 m<sup>2</sup>°C /W, outra camada de bloco térmico Zenith; camada de poliestireno expandido moldado, com 4 cm de espessura, densidade de 18 kg/m<sup>3</sup> e resistência térmica de 1 m<sup>2</sup>°C/W, e a última camada com 1 cm de reboco tradicional. Além de considerar as resistências térmica superficiais interior e exterior, respetivamente iguais a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W e 0,04 m<sup>2</sup>°C/W. **Portanto, o coeficiente de transmissão térmica (U) igual a 0,3957 W/m<sup>2</sup>°C, como mostrado na Tabela 93.**

Tabela 93 – Propriedades térmicas da parede: Tipo 1 – PE Sudeste.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	<b>0,3957</b>
Reboco tradicional	0,02	1.900	1,30	0,0154	
Bloco Zenith	0,15	1.200	0,26	0,5769	
Caixa de ar	0,30	1,23	-	0,1800	
Bloco Zenith	0,15	1.200	0,26	0,5769	
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,04	18	0,04	1,0000	
Reboco tradicional	0,01	1900	1,30	0,0077	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,0400	
<b>Total</b>	<b>0,67</b>			<b>2,5269</b>	

**Tipo 2 – PE Nordeste:** parede exterior com espessura total de 0,67 m constituída do interior para o exterior, por uma camada de reboco tradicional com 2 cm de espessura, densidade de 1.900 kg/m<sup>3</sup>, resistência térmica de 0,154 m<sup>2</sup>°C/W; bloco térmico Zenith com espessura de 15 cm, densidade de 1.200 kg/m<sup>3</sup>, resistência térmica igual a 0,5769 m<sup>2</sup>°C/W; caixa de ar, com espessura 30 cm, resistência térmica de 0,18 m<sup>2</sup>°C /W, outra camada de bloco térmico Zenith, mas com 13,5 cm de espessura, com resistência térmica igual a 0,5192 m<sup>2</sup>°C/W; camada de poliestireno expandido moldado, com 5,5 cm de espessura, densidade de 18 kg/m<sup>3</sup> e resistência térmica de 1,3750 m<sup>2</sup>°C/W, e a última camada com 1 cm de reboco tradicional. Além de considerar as resistências térmica superficiais interior e exterior, respetivamente iguais a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W e 0,04 m<sup>2</sup>°C/W. **Portanto, o coeficiente de transmissão térmica (U) igual a 0,3516 W/m<sup>2</sup>°C,** como mostrado na Tabela 94.

Tabela 94 – Propriedades térmicas da parede: Tipo 2 – PE Nordeste.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	
Reboco tradicional	0,020	1.900	1,30	0,0154	
Bloco Zenith	0,150	1.200	0,26	0,5769	
Caixa de ar	0,300	1,23	-	0,1800	
Bloco Zenith	0,135	1.200	0,26	0,5192	
					<b>0,3516</b>
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,055	18	0,04	1,3750	
Reboco tradicional	0,010	1.900	1,30	0,0077	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,0400	
<b>Total</b>	<b>0,670</b>			<b>2,8442</b>	

**Tipo 3 – PE Noroeste - cais noturno:** parede exterior com espessura total de 0,57 m constituída do interior para o exterior, por uma camada de reboco tradicional com 4 cm de espessura, densidade de 1.900 kg/m<sup>3</sup>, resistência térmica de 0,0308 m<sup>2</sup>°C/W; bloco térmico Zenith com espessura de 15 cm, densidade de 1.200 kg/m<sup>3</sup>, resistência térmica igual a 0,5769 m<sup>2</sup>°C/W; caixa de ar, com espessura 18 cm, resistência térmica de 0,18 m<sup>2</sup>°C /W, outra camada de bloco térmico Zenith, mas com 15 cm; camada de poliestireno expandido moldado, com 4 cm de espessura, densidade de 18 kg/m<sup>3</sup> e resistência térmica de 1,0 m<sup>2</sup>°C/W, e a última camada com 1 cm de reboco tradicional. Além de considerar as resistências superficiais interior e exterior, respetivamente

iguais a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$  e  $0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$ . **Portanto, o coeficiente de transmissão térmica (U) igual a  $0,3933 \text{ W/m}^2\text{C}$** , como mostrado na Tabela 95.

Tabela 95 - Propriedades térmicas da parede: Tipo 3 – PE Noroeste – cais noturno.

Camadas	Espessura (m)	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\lambda \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$	$R \text{ (m}^2\text{C/W)}$	$U \text{ (W/m}^2\text{C)}$
$R_{si}$	-	-	-	0,13	<b>0,3933</b>
Reboco tradicional	0,04	1.900	1,30	0,0308	
Bloco Zenith	0,15	1.200	0,26	0,5769	
Caixa de ar	0,18	1,23	-	0,1800	
Bloco Zenith	0,15	1.200	0,26	0,5769	
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,04	18	0,04	1,0000	
Reboco tradicional	0,01	1.900	1,30	0,0077	
$R_{se}$	-	-	-	0,0400	
<b>Total</b>	<b>0,57</b>			<b>2,5423</b>	

**Tipo 4 – PE Noroeste - zona de vendas:** parede exterior com espessura total de 0,695 m constituída do interior para o exterior, por uma camada de reboco tradicional com 4,5 cm de espessura, densidade de  $1.900 \text{ kg/m}^3$ , resistência térmica de  $0,0346 \text{ m}^2\text{C/W}$ ; bloco térmico Zenith com espessura de 15 cm, densidade de  $1.200 \text{ kg/m}^3$ , resistência térmica igual a  $0,5769 \text{ m}^2\text{C/W}$ ; caixa de ar, com espessura 30 cm, resistência térmica de  $0,18 \text{ m}^2\text{C/W}$ , outra camada de bloco térmico Zenith; camada de poliestireno expandido moldado, com 4 cm de espessura, densidade de  $18 \text{ kg/m}^3$  e resistência térmica de  $1,0 \text{ m}^2\text{C/W}$ , e a última camada com 1 cm de reboco tradicional, resistência térmica de  $0,0077 \text{ m}^2\text{C/W}$ . Além de considerar as resistências superficiais interior e exterior, respetivamente iguais a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$  e  $0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$ . **Portanto, o coeficiente de transmissão térmica (U) igual a  $0,3927 \text{ W/m}^2\text{C}$** , como mostrado na Tabela 96.

Tabela 96 – Propriedades térmicas da parede: Tipo 4 – PE Nordeste – zona de vendas.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> C/W)	U (W/m <sup>2</sup> C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	
Reboco tradicional	0,045	1.900	1,30	0,0346	
Bloco Zenith	0,150	1.200	0,26	0,5769	
Caixa de ar	0,300	1,23	-	0,1800	
Bloco Zenith	0,150	1.200	0,26	0,5769	
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,040	18	0,04	1,0000	
Reboco tradicional	0,010	1.900	1,3	0,0077	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,0400	
<b>Total</b>	<b>0,695</b>			<b>2,5462</b>	<b>0,3927</b>

**Tipo 5 – Fachada envidraçada:** por não haver informações no projeto arquitetônico, foi definido o tipo de vidro com base na certificação energética. Segundo a certificação energética, o edifício possui fachada dupla de vidro incolor com 10 mm de espessura, e com caixa de ar de 16 mm, fixado numa caixilharia em alumínio termolacado (tratamento de superfície dos perfis de alumínio por meio de um processo de pintura com base em pós de poliéster termoendurecíveis), com corte térmico e com proteção solar interior, sendo estore de lona, considerado como cortina ligeiramente transparente. Assim possui um **coeficiente de transmissão térmica igual a 1,30 W/m<sup>2</sup>C, fator solar do vidro igual a 0,28 e o global de 0,18**, como mostrado na Tabela 97.

Tabela 97 – Propriedades térmicas da parede: Tipo 5 – Fachada envidraçada.

Camada	Transmissão de luz visível	Coeficiente de ganho de calor solar (global)	Coeficiente de transmissão térmica (W/m <sup>2</sup> C)
Fachada de vidro duplo	-	0,18	1,30

**Tipo 6 – PE Sudeste maciça:** parede exterior com espessura total de 0,67 m constituída do interior para o exterior, por uma camada de reboco tradicional com 2 cm de espessura, densidade de 1.900 kg/m<sup>3</sup>, resistência térmica de 0,0154 m<sup>2</sup>C/W; bloco

térmico Zenith com espessura de 60 cm, densidade de  $1200 \text{ kg/m}^3$ , resistência térmica igual a  $2,3077 \text{ m}^2\text{C/W}$ ; camada de poliestireno expandido moldado, com 4 cm de espessura, densidade de  $18 \text{ kg/m}^3$  e resistência térmica de  $1,0 \text{ m}^2\text{C/W}$ , e a última camada com 1 cm de reboco tradicional, resistência térmica de  $0,0077 \text{ m}^2\text{C/W}$ . Além de considerar as resistências superficiais interior e exterior, respetivamente iguais a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$  e  $0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$ . **Portanto, o coeficiente de transmissão térmica (U) igual a  $0,2857 \text{ W/m}^2\text{C}$** , como mostrado na Tabela 98.

Tabela 98 – Propriedades térmicas da parede: Tipo 6 – PE Sudeste maciça.

Camadas	Espessura (m)	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\lambda \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$	$R \text{ (m}^2\text{C/W)}$	$U \text{ (W/m}^2\text{C)}$
$R_{si}$	-	-	-	0,1300	
Reboco tradicional	0,02	1.900	1,30	0,0154	
Bloco Zenith	0,60	1.200	0,26	2,3077	
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,04	18	0,04	1,0000	<b>0,2857</b>
Reboco tradicional	0,01	1.900	1,30	0,0077	
$R_{se}$	-	-	-	0,0400	
<b>Total</b>	<b>0,67</b>			<b>3,5008</b>	

**Tipo 7 – PE Sudoeste - cais noturno:** parede exterior com espessura total de 0,20 m constituída do interior para o exterior, por uma camada de reboco tradicional com 2 cm de espessura, densidade de  $1.900 \text{ kg/m}^3$ , resistência térmica de  $0,0154 \text{ m}^2\text{C/W}$ ; bloco térmico Zenith com espessura de 13 cm, densidade de  $1.200 \text{ kg/m}^3$ , resistência térmica igual a  $0,50 \text{ m}^2\text{C/W}$ ; camada de poliestireno expandido moldado, com 4 cm de espessura, densidade de  $18 \text{ kg/m}^3$  e resistência térmica de  $1,0 \text{ m}^2\text{C/W}$ , e a última camada com 1 cm de reboco tradicional, resistência térmica de  $0,0077 \text{ m}^2\text{C/W}$ . Além de considerar as resistências superficiais interior e exterior, respetivamente iguais a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$  e  $0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$ . **Portanto, o coeficiente de transmissão térmica (U) igual a  $0,5906 \text{ W/m}^2\text{C}$** , como mostrado na Tabela 99.

Tabela 99 – Propriedades térmicas da parede: Tipo 7 – PE Sudoeste – cais noturno.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> C/W)	U (W/m <sup>2</sup> C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	
Reboco tradicional	0,02	1.900	1,30	0,0154	
Bloco Zenith	0,13	1.200	0,26	0,5000	
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,04	18	0,04	1,0000	0,5906
Reboco tradicional	0,01	1.900	1,30	0,0077	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,0400	
<b>Total</b>	<b>0,20</b>			<b>1,6931</b>	

**Cobertura:** pela falta de informações sobre os materiais utilizados na cobertura do edifício, foram utilizados os valores descritos na certificação energética, como as camadas de materiais e as suas respectivas espessuras. Assim, do interior para o exterior, uma camada de Policloreto de vinilo (PVC), com espessura de 0,15 cm, densidade de 1.390 kg/m<sup>3</sup>, e resistência térmica de 0,009 m<sup>2</sup>C/W; depois uma camada de lâ de rocha com espessura 8 cm, densidade 140 kg/m<sup>3</sup>, resistência térmica igual a 1,9048 m<sup>2</sup>C/W; e a última camada composta por um revestimento de aço, com espessura de 0,07 cm, densidade de 7.800 kg/m<sup>3</sup>, o qual não foi considerado a sua resistência térmica. Portanto, a cobertura possui uma espessura total de 8,22 cm, e um **coeficiente de transmissão térmica igual a 0,4709 W/m<sup>2</sup>C**, como mostrado na Tabela 100.

Tabela 100 – Propriedades térmicas da cobertura.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> C/W)	U (W/m <sup>2</sup> C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1700	
Revestimento de aço	0,0007	7.800	50,000	0	
Lã de rocha	0,0800	140	0,042	1,9048	
Cloreto de polivinilo (PVC)	0,0015	1.390	0,170	0,0090	0,4709
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,0400	
<b>Total</b>	<b>0,0822</b>			<b>2,1238</b>	



**Piso 0:** o pavimento em contato com o solo, piso do nível 0, foi considerado sem isolamento térmico, assim o coeficiente de transmissão térmica foi calculada através da Tabela 3, do Despacho n.º 15793-K/2013 [61, p. 63], o qual estabelece que não se deve utilizar as resistências térmicas superficiais externa e interna para pavimento. A área interior útil do pavimento é aproximadamente  $2.237,105 \text{ m}^2 (A_p)$ , o perímetro das paredes externas é igual a  $213,77 \text{ m (p)}$ , a resistência térmica do piso é igual a  $0,5 \text{ m}^2\text{C/W}$ , e a profundidade do piso em relação ao chão exterior igual a  $0 \text{ m (z=0)}$ , e a dimensão característica do pavimento ( $B' = A_p / (0,5 * p)$ ). Desse modo, pela Tabela 3, **o coeficiente de transmissão térmica é igual a  $0,21 \text{ W/m}^2\text{C}$ .**

## 6.2 ANEXO 2

### 6.2.1 Envoltentes opacas internas do supermercado

**PI 1 - Parede Interior 0,10 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “bloco de betão leve”, referente ao quadro I.5 da ITE 50 (ANEXO 3), com resistências térmicas superficiais interior e exterior iguais a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$  (ANEXO 3), com uma espessura de 0,10 m, possui uma **resistência térmica de  $0,53 \text{ m}^2\text{C/W}$** , logo um **coeficiente de transmissão térmica de  $1,8868 \text{ W/m}^2\text{C}$** , como mostrado na Tabela 101.

Tabela 101 – Propriedades térmicas da parede: PI 1 – Parede Interior 0,1 m.

Camadas	Espessura (m)	R ( $\text{m}^2\text{C/W}$ )	U ( $\text{W/m}^2\text{C}$ )
R <sub>si</sub>	-	0,13	<b>1,8868</b>
Parede simples	0,10	0,27	
R <sub>se</sub>	-	0,13	
<b>Total</b>	<b>0,10</b>	<b>0,53</b>	

**PI 2 - Parede Interior 0,15 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “bloco de betão leve”, referente ao quadro I.5 da ITE 50 (ANEXO 3), com resistências térmicas superficiais interior e exterior iguais a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$  (ANEXO 3), com uma espessura de 0,15 m, possui uma **resistência térmica de  $0,57 \text{ m}^2\text{C/W}$** , logo um **coeficiente de transmissão térmica de  $1,7544 \text{ W/m}^2\text{C}$** , como mostrado na Tabela 102.

Tabela 102 – Propriedades térmicas da parede: PI 2 – Parede Interior 0,15 m.

Camadas	Espessura (m)	R ( $\text{m}^2\text{C/W}$ )	U ( $\text{W/m}^2\text{C}$ )
R <sub>si</sub>	-	0,13	<b>1,7544</b>
Parede simples	0,15	0,31	
R <sub>se</sub>	-	0,13	
<b>Total</b>	<b>0,15</b>	<b>0,57</b>	

**PI 3 - Parede Interior 0,18 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “bloco de betão leve”, referente ao quadro I.5 da ITE 50 (ANEXO 3), com resistências térmicas superficiais interior e exterior iguais a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$  (ANEXO 3), com uma espessura de 0,18 m, possui uma **resistência térmica de  $0,75 \text{ m}^2\text{C/W}$** , logo um **coeficiente de transmissão térmica de  $1,3333 \text{ W/m}^2\text{C}$** , como mostrado na Tabela 103.

Tabela 103 – Propriedades térmicas da parede: PI 3 – Parede Interior 0,18 m.

Camadas	Espessura (m)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	0,13	<b>1,3333</b>
Parede simples	0,18	0,49	
R <sub>se</sub>	-	0,13	
<b>Total</b>	<b>0,18</b>	<b>0,75</b>	

**PI 4 - Parede Interior 0,20 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “bloco de betão leve”, referente ao quadro I.5 da ITE 50 (ANEXO 3), com resistências térmicas superficiais interior e exterior iguais a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W (ANEXO 3), com uma espessura de 0,20 m, possui uma **resistência térmica de 0,75 m<sup>2</sup>°C/W**, logo um **coeficiente de transmissão térmica de 1,3333 W/m<sup>2</sup>°C**, como mostrado na Tabela 104.

Tabela 104 – Propriedades térmicas da parede: PI 4 – Parede Interior 0,20 m.

Camadas	Espessura (m)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	0,13	<b>1,3333</b>
Parede simples	0,20	0,49	
R <sub>se</sub>	-	0,13	
<b>Total</b>	<b>0,20</b>	<b>0,75</b>	

**PI 5 - Parede Interior 0,25 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “bloco de betão leve”, referente ao quadro I.5 da ITE 50 (ANEXO 3), com resistências térmicas superficiais interior e exterior iguais a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W (ANEXO 3), com uma espessura de 0,25 m, possui uma **resistência térmica de 0,80 m<sup>2</sup>°C/W**, logo um **coeficiente de transmissão térmica de 1,25 W/m<sup>2</sup>°C**, como mostrado na Tabela 105.

Tabela 105 – Propriedades térmicas da parede: PI 5 – Parede Interior 0,25 m.

Camadas	Espessura (m)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	0,13	<b>1,2500</b>
Parede simples	0,25	0,54	
R <sub>se</sub>	-	0,13	
<b>Total</b>	<b>0,25</b>	<b>0,80</b>	

**PI 6 - Parede Interior 0,30 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “bloco de betão leve”, referente ao quadro I.5 da ITE 50 (ANEXO 3), com resistências térmicas superficiais interior e exterior iguais a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W (ANEXO 3), com uma espessura de 0,30 m, possui uma **resistência térmica de 0,85 m<sup>2</sup>°C/W**, logo um **coeficiente de transmissão térmica de 1,1765 W/m<sup>2</sup>°C**, como mostrado na Tabela 106.

Tabela 106 – Propriedades térmicas da parede: PI 6 - Parede Interior 0,30 m.

Camadas	Espessura (m)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	0,13	<b>1,1765</b>
Parede simples	0,30	0,59	
R <sub>se</sub>	-	0,13	
<b>Total</b>	<b>0,30</b>	<b>0,85</b>	

**PI 7 - Parede Interior 0,37 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria”, referente ao quadro I.2 da ITE 50 (ANEXO 3), com 0,30 m de espessura, revestida em uma face por reboco tradicional de 0,05 m de espessura, e o revestimento na outra face por reboco tradicional com 0,0154 m de espessura. Utilizando-se uma resistência térmica superficial interna e externa igual a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W, com uma espessura total de 0,37 m, possui uma **resistência térmica de 0,9521 m<sup>2</sup>°C/W**, logo um **coeficiente de transmissão térmica de 1,0503 W/m<sup>2</sup>°C**, como mostrado na Tabela 107.

Tabela 107 – Propriedades térmicas da parede: PI 7 – Parede Interior 0,37 m.

Camadas	Espessura (m)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	λ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	<b>1,0503</b>
Reboco tradicional	0,05	1.900	1,3	0,0385	
Parede simples	0,30	1.300	0,47	0,6383	
Reboco tradicional	0,02	1.900	1,3	0,0154	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,1300	
<b>Total</b>	<b>0,37</b>			<b>0,9521</b>	

**PI 8 - Parede Interior 0,38 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria”, referente ao quadro I.2 da ITE 50 (ANEXO 3) com 0,315 m de espessura, revestida em uma face por reboco tradicional de 0,045 m de espessura, e o revestimento na outra face por reboco tradicional com 0,02 m de espessura. Utilizando-se uma resistência térmica superficial interna e externa igual a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W, com uma espessura total de 0,38 m, possui uma **resistência térmica de 0,9802 m<sup>2</sup>°C/W**, logo um **coeficiente de transmissão térmica de 1,0202 W/m<sup>2</sup>°C**, como mostrado na Tabela 108.

Tabela 108 – Propriedades térmicas da parede: PI 8 – Parede Interna 0,38 m.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> C/W)	U (W/m <sup>2</sup> C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	<b>1,0202</b>
Reboco tradicional	0,045	1.900	1,3	0,0346	
Parede simples	0,315	1.300	0,47	0,6702	
Reboco tradicional	0,020	1.900	1,3	0,0154	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,1300	
<b>Total</b>	<b>0,380</b>			<b>0,9802</b>	

**PI 9 - Parede Interior 0,40 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria”, referente ao quadro I.2 da ITE 50 (ANEXO 3), com 0,35 m de espessura, revestida em uma face reboco tradicional de 0,03 m de espessura, e o revestimento na outra face por reboco tradicional com 0,02 m de espessura. Utilizando-se uma resistência térmica superficial interna e externa igual a 0,13 m<sup>2</sup>C/W, com uma espessura total de 0,40 m, possui uma **resistência térmica de 1,0431 m<sup>2</sup>C/W**, logo um **coeficiente de transmissão térmica de 0,9586 W/m<sup>2</sup>C**, como mostrado na Tabela 109.

Tabela 109 – Propriedades térmicas da parede: PI 9 – Parede Interior 0,40 m.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> C/W)	U (W/m <sup>2</sup> C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	<b>0,9586</b>
Reboco tradicional	0,03	1.900	1,30	0,0230	
Parede simples	0,35	1.300	0,47	0,7447	
Reboco tradicional	0,02	1.900	1,30	0,0154	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,1300	
<b>Total</b>	<b>0,40</b>			<b>1,0431</b>	

**PI 10 - Parede Interior 0,405 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria”, referente ao quadro I.2 da ITE 50 (ANEXO 3), com 0,355 m de espessura, revestida em uma face por reboco tradicional de 0,03 m de espessura, e o revestimento na outra face por reboco tradicional com 0,02 m de espessura. Utilizando-se uma resistência térmica superficial interna e externa igual a 0,13 m<sup>2</sup>C/W, com uma espessura total de 0,405 m, possui

uma **resistência térmica de 1,0538 m<sup>2</sup>°C/W**, logo um **coeficiente de transmissão térmica de 0,9490 W/m<sup>2</sup>°C**, como mostrado na Tabela 110.

Tabela 110 – Propriedades térmicas da parede: PI 10 – Parede Interior 0,405 m.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	<b>0,9490</b>
Reboco tradicional	0,030	1.900	1,30	0,0230	
Parede simples	0,355	1.300	0,47	0,7553	
Reboco tradicional	0,020	1.900	1,30	0,0154	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,1300	
<b>Total</b>	<b>0,405</b>			<b>1,0538</b>	

**PI 11 - Parede Interior 0,41 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria”, referente ao quadro I.2 da ITE 50 (ANEXO 3), com 0,36 m de espessura, revestida em uma face por reboco tradicional de 0,03 m de espessura, e o revestimento na outra face por reboco tradicional com 0,02 m de espessura. Utilizando-se uma resistência térmica superficial interna e externa igual a 0,13 m<sup>2</sup>°C/W, com uma espessura total de 0,41 m, possui uma **resistência térmica de 1,0644 m<sup>2</sup>°C/W**, logo um **coeficiente de transmissão térmica de 0,9395 W/m<sup>2</sup>°C**, como mostrado na Tabela 111.

Tabela 111 – Propriedades térmicas da parede: PI 11 – Parede Interior 0,41 m.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	<b>0,9395</b>
Reboco tradicional	0,03	1.900	1,30	0,0230	
Parede simples	0,36	1.300	0,47	0,7660	
Reboco tradicional	0,02	1.900	1,30	0,0154	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,1300	
<b>Total</b>	<b>0,41</b>			<b>1,0644</b>	

**PI 12 - Parede Interior 0,445 m:** considerou-se uma parede simples de alvenaria do tipo “betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria”, referente ao quadro I.2 da ITE 50 (ANEXO 3), com 0,395 m de espessura, revestida em uma face por reboco

tradicional de 0,03 m de espessura, e o revestimento na outra face por reboco tradicional com 0,02 m de espessura. Utilizando-se uma resistência térmica superficial interna e externa igual a  $0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$ , com uma espessura total de 0,445 m, possui uma **resistência térmica de  $1,1389 \text{ m}^2\text{C/W}$** , logo um **coeficiente de transmissão térmica de  $0,8781 \text{ W/m}^2\text{C}$** , como mostrado na Tabela 112.

Tabela 112 – Propriedades térmicas da parede: PI 12 – Parede Interior 0,445 m.

Camadas	Espessura (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> C/W)	U (W/m <sup>2</sup> C)
R <sub>si</sub>	-	-	-	0,1300	<b>0,8781</b>
Reboco tradicional	0,030	1.900	1,30	0,0230	
Parede simples	0,395	1.300	0,47	0,8404	
Reboco tradicional	0,020	1.900	1,30	0,0154	
R <sub>se</sub>	-	-	-	0,1300	
<b>Total</b>	<b>0,445</b>			<b>1,1389</b>	

**Piso 1:** para o pavimento do nível 1 considerou-se que é composto por uma camada de cerâmica de 6 cm de espessura, densidade de  $2300 \text{ kg/m}^3$ , e resistência térmica igual a  $0,0461 \text{ m}^2\text{C/W}$ ; e uma camada de betão com espessura de 20 cm, densidade de  $2.400 \text{ kg/m}^3$ , e resistência térmica igual a  $0,10 \text{ m}^2\text{C/W}$ ; e como o pavimento é sobre um espaço técnico, segundo a ITE 50 da LNEC [118, p. 6], a resistência térmica superficial exterior e interior, para fluxo ascendente de calor, são iguais a  $0,10 \text{ m}^2\text{C/W}$ . **Portanto, o coeficiente de transmissão térmica é  $2,8889 \text{ W/m}^2\text{C}$ .**

### 6.3 ANEXO 3

#### 6.3.1 Dados de condutibilidade, resistência térmica e coeficiente de transmissão de térmica

##### Quadro I.3:

As resistências térmicas superficiais estabelecidas pela ITE 50 (quadro I.3) da LNEC que foram utilizadas neste trabalho estão descritas na Figura 122.

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ]	
	exterior $R_{se}$	interior $R_{si}$
Horizontal <sup>(1)</sup>	0,04	0,13
Vertical <sup>(2)</sup>		
	ascendente descendente	0,10 0,17

1 – Paredes (até +/- 30° com a vertical)

2 – Coberturas e pavimentos (até +/- 60° com a horizontal)

Figura 122 – Resistências térmicas superficiais estabelecidos pela ITE 50 (quadro I.3) [118, p. I.11].

##### Quadro I.5:

A Figura 123 ilustra o quadro I.5, que foi retirada da publicação ITE 50 da LNEC, que define as resistências térmicas para paredes simples de alvenaria, sendo que este trabalho utilizou alguns valores de resistências térmicas para as paredes internas com espessuras menores que 0,30 m.

Tipo de elemento		Espessura da alvenaria [m]								
		0,03	0,04	0,07	0,09	0,10 0,11	0,15	0,19 0,20 0,22	0,24 0,25	0,30
tijolos cerâmicos	furado (normal)	0,07	0,10	0,19	0,23	0,27	0,39	0,52	0,56	—
	maciço	—	—	0,08	—	0,13	—	—	—	—
blocos de betão	normal	—	—	—	—	0,16	0,20	0,30	0,33	0,37
	leve	—	—	—	—	0,27	0,31	0,49	0,54	0,59

Figura 123 - Resistências térmicas para paredes simples de alvenaria retirado da ITE 50 (quadro I.5) [118, p. I.12].



**Quadro I.2 (uma parte do quadro original):**

A Figura 124 ilustra um pedaço do quadro I.2 (continuação) da ITE 50, que define a condutibilidades térmicas de diversos materiais, sendo que neste trabalho foi utilizado o valor da condutibilidade térmica do material “betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria”, nas paredes internas com espessuras maiores que 0,30 m.

Material	Massa volúmica aparente seca, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Condutibilidade térmica, valor de cálculo, $\lambda$ [W/(m. °C)]
<b>BETÕES (cont.)</b>		
<b>betão de inertes de pedra-pomes</b> massa volúmica aparente dos inertes de aprox. 600 kg/m <sup>3</sup>	950 - 1150	0,46
<b>betão de inertes de pedra-pomes para blocos de alvenaria</b>	500	0,16
	700	0,21
	900	0,28
	1100	0,37
	1300	0,47

Figura 124 – Condutibilidades térmicas para diversos materiais estabelecidos pela ITE 50 (quadro I.2) [118, p. I.6].

## 6.4 ANEXO 4

### 6.4.1 Tipos de Vidros Revit®

Tabela 113 – Propriedades térmicas dos tipos de vidros padronizados presentes no Revit®.

<b>Tipo</b>	<b>Transmissão de luz visível</b>	<b>SHGC</b>	<b>R (m<sup>2</sup>°C /W)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b>
1/2 in Pilkington single glazing	0,88	0,81	0,1603	6,2426
1/4 in Pilkington single glazing	0,90	0,86	0,1492	6,7018
1/4 in single glass pane in heavy frame	0,90	0,86	0,1806	5,5364
1/4 in single panes with 3/8 in cavity	0,81	0,76	0,3492	2,8636
1/8 in Pilkington single glazing	0,90	0,86	0,2711	3,6886
1/8 in Pilkington single glazing (U-value 5.5473)	0,90	0,86	0,1803	5,5473
1/8 in Pilkington single glazing (U-value 6.7069)	0,90	0,86	0,1491	6,7069
1/8 in single glass pane in unsealed openable frames	0,90	0,86	0,1741	5,7424
1/8 in single panes with 1/4 in cavity	0,81	0,76	0,2814	3,5541
3/8 in Pilkington single glazing	0,88	0,81	0,1493	6,6979
3/8 in single glass pane in heavy frame	0,88	0,81	0,1811	5,5233
3/8 in single panes with 3/16 in cavity	0,78	0,70	0,3479	2,8746
Air partition	0,90	0,86	0,2657	3,7642
Clear element (all solar gain transmitted)	0,90	0,86	0,1757	5,6928
Double glazing - 1/4 in thick - bluegreen/low-E (e = 0.05) glass	0,45	0,27	0,5032	1,9873

Double glazing - 1/4 in thick - bluegreen/low-E (e = 0.1) glass	0,62	0,39	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - bluegreen/low-E (e = 0.2) glass	0,62	0,45	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - clear/low-E (e = 0.05) glass	0,42	0,26	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - clear/low-E (e = 0.1) glass	0,45	0,39	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - clear/low-E (e = 0.2) glass	0,45	0,45	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - gray/low-E (e = 0.05) glass	0,35	0,24	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - gray/low-E (e = 0.1) glass	0,37	0,34	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - gray/low-E (e = 0.2) glass	0,37	0,39	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - green/low-E (e = 0.05) glass	0,60	0,31	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - green/low-E (e = 0.1) glass	0,61	0,36	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - green/low-E (e = 0.2) glass	0,61	0,41	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - low-E/clear (e = 0.05) glass	0,70	0,37	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - low-E/clear (e = 0.1) glass	0,72	0,60	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/4 in thick - low-E/clear (e = 0.2) glass	0,73	0,60	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/8 in thick - clear/low-E (e = 0.1) glass	0,57	0,48	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/8 in thick - clear/low-E (e = 0.2) glass	0,58	0,57	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/8 in thick -	0,52	0,46	0,5032	1,9873

gray/low-E (e = 0.1) glass				
Double glazing - 1/8 in thick - gray/low-E (e = 0.2) glass	0,53	0,54	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/8 in thick - green/low-E (e = 0.1) glass	0,68	0,46	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/8 in thick - green/low-E (e = 0.2) glass	0,70	0,55	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/8 in thick - low-E/clear (e = 0.05) glass	0,72	0,41	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/8 in thick - low-E/clear (e = 0.1) glass	0,76	0,65	0,5032	1,9873
Double glazing - 1/8 in thick - low-E/clear (e = 0.2) glass	0,76	0,65	0,5032	1,9873
Double glazing - domestic	0,81	0,76	0,3196	3,1292
Double glazing - domestic SC=0.3	0,27	0,29	0,3501	2,8567
Double glazing - domestic SC=0.4	0,59	0,39	0,3501	2,8567
Double glazing - domestic SC=0.5	0,68	0,49	0,3501	2,8567
Double glazing - domestic SC=0.6	0,75	0,60	0,3501	2,8567
Double glazing - domestic SC=0.7	0,78	0,70	0,3501	2,8567
Double glazing domestic SC=0.2	0,18	0,21	0,3196	3,1292
Double glazing domestic SC=0.3	0,27	0,29	0,3196	3,1292
Double glazing domestic SC=0.4	0,59	0,39	0,3196	3,1292
Double glazing domestic SC=0.5	0,47	0,49	0,3196	3,1292
Double glazing domestic	0,62	0,62	0,3196	3,1292

SC=0.6				
Large double-glazed windows (reflective coating) - industry	0,07	0,13	0,3129	3,1956
Large double-glazed windows - absorbing coating	0,81	0,76	0,3129	3,1956
Large double-glazed windows - reflective coating	0,07	0,13	0,3129	3,1956
Large single-glazed Window	0,90	0,86	0,1492	6,7018
Large single-glazed Window	0,90	0,86	0,1798	5,5617
Low-E double glazing (1/4 in + 1/4 in)	0,76	0,65	0,4755	2,103
Low-E double glazing - domestic	0,76	0,65	0,4515	2,2147
Low-E double glazing SC=0.2	0,35	0,24	0,4755	2,103
Low-E double glazing SC=0.3	0,57	0,31	0,4755	2,103
Low-E double glazing SC=0.4	0,45	0,39	0,3196	3,1292
Low-E double glazing SC=0.5	0,57	0,48	0,4755	2,103
Low-E double glazing SC=0.6	0,73	0,60	0,4755	2,103
Low-E triple glazing SC=0.2	0,55	0,26	0,6871	1,4554
Low-E triple glazing SC=0.3	0,59	0,36	0,6871	1,4554
Low-E triple glazing SC=0.4	0,62	0,41	0,6871	1,4554
Low-E triple glazing SC=0.5	0,64	0,53	0,6871	1,4554
Low-E triple glazing SC=0.65	0,68	0,62	0,6871	1,4554
Pilkington RW33 double glazing (1/4 in + 1/4 in)	0,81	0,76	0,3196	3,1288
Pilkington RW36 double glazing (3/8 in + 1/8 in)	0,81	0,76	0,3196	3,1288
Pilkington RW38 double glazing (3/8 in + 1/4 in)	0,81	0,76	0,3196	3,2188
Polycarbonate double-glazed roof lights	0,81	0,76	0,2681	3,7299

Reflective double glazing - 1/4 in thick - 14% stainless steel on clear glass	0,13	0,17	0,5032	1,9873
Reflective double glazing - 1/4 in thick - 14% stainless steel on green glass	0,11	0,16	0,5032	1,9873
Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% stainless steel on clear glass	0,18	0,22	0,5032	1,9873
Reflective double glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass	0,18	0,21	0,5032	1,9873
Reflective double glazing - 1/4 in thick - 30% titanium on clear glass	0,27	0,29	0,5032	1,9873
Reflective double glazing - 1/4 in thick - 8% stainless steel on clear glass	0,07	0,13	0,5032	1,9873
Reflective single glazing - 1/4 in thick - 14% stainless steel on clear glass	0,14	0,25	0,1693	5,905
Reflective single glazing - 1/4 in thick - 14% stainless steel on green glass	0,12	0,25	0,163	5,905
Reflective single glazing - 1/4 in thick - 20% stainless steel on clear glass	0,20	0,31	0,1693	5,905
Reflective single glazing - 1/4 in thick - 20% titanium on clear glass	0,20	0,29	0,1693	5,905
Reflective single glazing - 1/4 in thick - 30% titanium on clear glass	0,30	0,39	0,1693	5,905
Reflective single glazing - 1/4 in thick - 8% stainless steel on clear glass	0,08	0,19	0,1693	5,905

Single glazing SC=0.2	0,08	0,19	0,1492	6,7018
Single glazing SC=0.3	0,20	0,29	0,1492	6,7018
Single glazing SC=0.4	0,30	0,39	0,1492	6,7018
Single glazing SC=0.5	0,46	0,59	0,1492	6,7018
Single glazing SC=0.6	0,76	0,60	0,1492	6,7018
Single glazing SC=0.7	0,62	0,70	0,1492	6,7018
Single glazing SC=0.8	0,88	0,81	0,1492	6,7018
Single-glazed windows - domestic	0,90	0,86	0,1743	5,7361
Small double-glazed windows	0,81	0,76	0,2848	3,5116
Small double-glazed windows - low-E coating	0,76	0,65	0,3916	2,5538
Small single-glazed windows	0,90	0,86	0,1602	6,2439
Triple glazing - 1/4 in thick - clear/clear/clear glass	0,70	0,61	0,6523	1,533
Triple glazing - 1/4 in thick - clear/clear/low-E (e = 0.2) glass	0,64	0,56	0,6523	1,533
Triple glazing - 1/4 in thick - low-E/clear/clear (e = 0.2) glass	0,64	0,53	0,6523	1,533
Triple glazing - 1/4 in thick - low-E/clear/low-E (e = 0.1) glass	0,59	0,36	0,6523	1,533
Triple glazing - 1/4 in thick - low-E/low-E/clear (e = 0.05) glass	0,55	0,26	0,6523	1,533
Triple glazing - 1/8 in thick - clear/clear/clear glass	0,74	0,68	0,6523	1,533
Triple glazing - 1/8 in thick - clear/clear/low-E (e = 0.2) glass	0,68	0,62	0,6523	1,533
Triple glazing - 1/8 in thick - low-E/clear/clear (e = 0.2) glass	0,68	0,60	0,6523	1,533
Triple glazing - 1/8 in thick -	0,62	0,41	0,6523	1,533

low-E/clear/low-E (e = 0.1) glass				
Triple glazing - 1/8 in thick - low-E/low-E/clear (e = 0.05) glass	0,58	0,27	0,6523	1,533
Uncoated double glazing - 1/4 in thick - bluegreen/clear glass	0,67	0,50	0,5032	1,9873
Uncoated double glazing - 1/4 in thick - clear/clear glass	0,47	0,49	0,5032	1,9873
Uncoated double glazing - 1/4 in thick - gray/clear glass	0,41	0,47	0,5032	1,9873
Uncoated double glazing - 1/4 in thick - green/clear glass	0,68	0,49	0,5032	1,9873
Uncoated double glazing - 1/8 in thick - clear/clear glass	0,62	0,62	0,5032	1,9873
Uncoated double glazing - 1/8 in thick - gray/clear glass	0,56	0,60	0,5032	1,9873
Uncoated double glazing - 1/8 in thick - green/clear glass	0,75	0,60	0,5032	1,9873
Uncoated single glazing - 1/4 in thick - bluegreen glass	0,75	0,62	0,1693	5,905
Uncoated single glazing - 1/4 in thick - clear glass	0,54	0,62	0,1693	5,905
Uncoated single glazing - 1/4 in thick - gray glass	0,46	0,59	0,1693	5,905
Uncoated single glazing - 1/4 in thick - green glass	0,76	0,60	0,1693	5,905
Uncoated single glazing - 1/8 in thick - clear glass	0,68	0,73	0,1693	5,905
Uncoated single glazing - 1/8 in thick - gray glass	0,62	0,70	0,1693	5,905
Uncoated single glazing - 1/8 in thick - green glass	0,82	0,70	0,1693	5,905



## 6.5 ANEXO 5

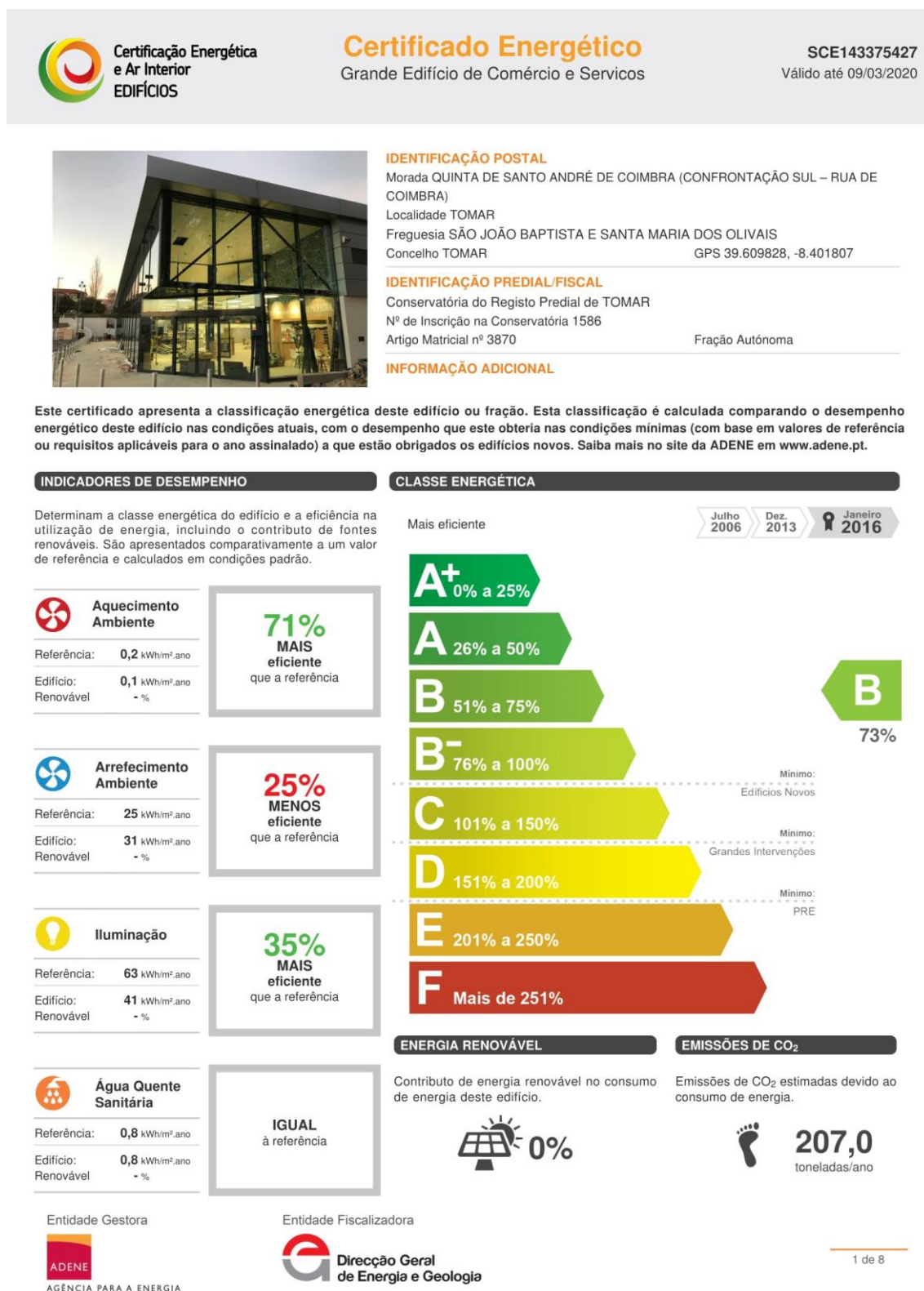
### 6.5.1 Valores analíticos para os elementos do tipo porta

Tabela 114 – Propriedades térmicas dos tipos de portas padronizados presentes no Revit®.

Tipo	Transmissão de luz visível	SHGC	R (m <sup>2</sup> °C /W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Door - wood - hollow core - wood storm	0,00	0,00	0,5337	1,8737
French door, metal frame with double glass	0,00	0,00	0,2336	4,2812
French door, metal frame with single glass	0,00	0,00	0,1456	6,8703
French door, metal frame with triple glass	0,00	0,00	0,3011	3,3216
French door, wood frame with double glass	0,00	0,00	0,3374	2,9639
French door, wood frame with single glass	0,00	0,00	0,1884	5,3089
French door, wood frame with triple glass	0,00	0,00	0,4747	2,1065
Hollow core wood	0,00	0,00	0,3145	3,1796
Hollow core wood, metal storm	0,00	0,00	0,4892	2,0441
Metal	0,00	0,00	0,2701	3,7021
Metal frame with single clear glass	0,00	0,00	0,1525	6,558
Metal frame, double glass door	0,00	0,00	0,2429	4,1165
Metal frame, double/triple glass, glass storm	0,00	0,00	0,3594	2,7822
Metal, fiberglass core	0,00	0,00	0,2985	3,35
Metal, fiberglass core, storm	0,00	0,00	0,4799	2,0838
Solid core wood	0,00	0,00	0,3829	2,6119
Solid core wood, metal storm	0,00	0,00	0,5504	1,817
Solid core wood, wood storm	0,00	0,00	0,6073	1,6466
Solid hardwood	0,00	0,00	0,3911	2,5572
Timber flush-panel hollow-core	0,00	0,00	0,43	2,3256
Wood frame with single clear glass	0,00	0,00	0,1779	5,6212
Wood frame, double glass door	0,00	0,00	0,3196	3,1286
Wood frame, double/triple glass, glass storm	0,00	0,00	0,5165	1,9361
Wood frame, single glass door, glass storm	0,00	0,00	0,3708	2,697
Wood panel	0,00	0,00	0,2629	3,8042
Wood panel with wood storm	0,00	0,00	0,4892	2,044
Wood panel, metal storm	0,00	0,00	0,4296	2,3279
Wooden	0,00	0,00	0,4557	2,1944

## 6.6 ANEXO 6

## 6.6.1 Certificado energético do supermercado





**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

**Certificado Energético**  
Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCE143375427



#### DESCRIÇÃO SUCINTA DO EDIFÍCIO OU FRAÇÃO

O edifício localiza-se na União das Freg. De Tomar (S. João Baptista) e Santa Maria dos Olivais, Concelho de Tomar, a uma altitude de 80 m e distância à costa Atlântica superior a 5 km. Esta situação geográfica é classificada como zona climática I1 V3 no Médio Tejo (referência NUTS III) e caracterizada por 1216 graus-dias, duração da estação de aquecimento de 5.9 meses, energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento (GSUL) de 145 kWh/(m<sup>2</sup>.mês) e temperatura média do ar exterior de 22.7°C na estação de arrefecimento e 9.9°C na estação de aquecimento.

O edifício é constituído por um piso térreo e um mezanine, com área total de 2372.3 m<sup>2</sup> e pé-direito médio ponderado de 5.02m, encontrando-se dividido em área de vendas, armazém climatizado, sala do chefe, sala de pessoal, instalações sanitárias, zonas técnicas e salas de informação.

#### CONSUMOS ESTIMADOS POR FORMA DE ENERGIA

Representa uma previsão do consumo das diversas formas de energia utilizadas no edifício. Este consumo é estimado para um ano, tendo em consideração condições padrão no que respeita à utilização do edifício e dos seus sistemas técnicos. Caso não existam sistemas de climatização na previsão do consumo, considera-se a existência de um sistema por defeito.

Formas de Energia	Custo [€/kWh]
Eletricidade	0,13

575.443  
kWh/ano  
(74.809€)

575.443  
kWh/ano

#### CONSUMOS ESTIMADOS POR TIPOLOGIA

O gráfico apresenta uma previsão do consumo de energia para a(s) tipologia(s) do edifício com maior consumo, desagregado por diversos usos, tendo sido consideradas condições padrão no que respeita à utilização do mesmo e seus sistemas técnicos. Caso não existam sistemas de climatização na previsão do consumo, considera-se a existência de um sistema por defeito.

Principais Tipologias	Área [m <sup>2</sup> ]	Consumos [kWh/ano]	Distribuição de Consumos por Uso [%]			Legenda
Supermercados	1.778	439.799	16	20	64	Aquecimento Arrefecimento Iluminação Água Quente Sanitária Outros
Armazéns	529	118.495	5	8	87	
Centros de armazenagem de dados	33	17.094	1	99		
Zonas técnicas	33	54	100			

Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora



Direcção Geral  
de Energia e Geologia

2 de 8



**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

**Certificado Energético**  
Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCE143375427



#### PROPOSTAS DE MEDIDAS DE MELHORIA

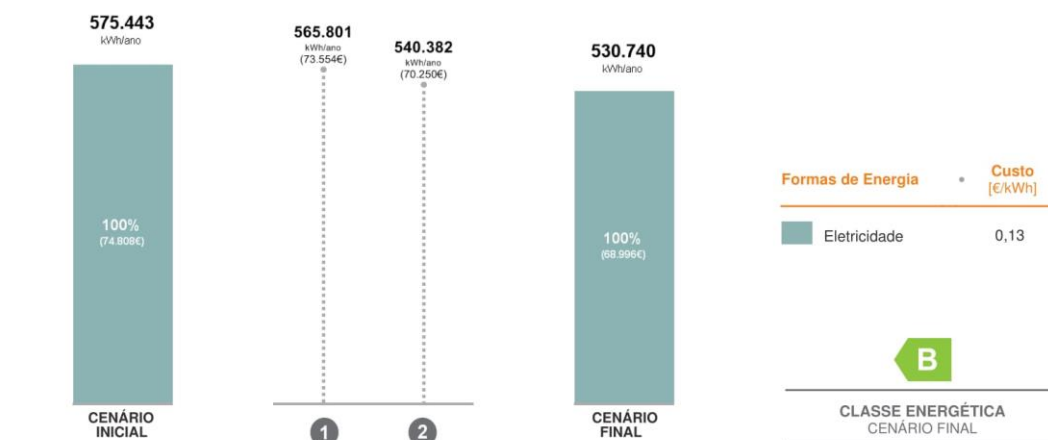
As medidas propostas foram identificadas pelo Perito Qualificado e têm como objectivo a melhoria do desempenho energético do edifício. A implementação destas medidas, para além de reduzir a fatura energética anual, poderá contribuir para uma melhoria na classificação energética.

Nº da Medida	Aplicação	Descrição da Medida de Melhoria Proposta	Custo Estimado do Investimento	Redução Anual Estimada da Fatura Energética	Classe Energética (após medida)
1		Instalação de sistemas de regulação de fluxo (dimmers) com células fotoléticas para controlo e regulação dos sistemas de iluminação	1.000€	até 1.200€	B
2		Instalação de túneis de luz e sistema de regulação de fluxo	26.000€	até 4.600€	B

Saiba mais sobre as medidas de melhoria nas restantes páginas do certificado.

#### CONJUNTO DE MEDIDAS DE MELHORIA

O gráfico representa o impacto no consumo de energia e custo associado. A desagregação apresentada, reflete o impacto individual de cada medida de melhoria, bem como de um conjunto de medidas seleccionadas pelo Perito Qualificado.



Medidas de melhoria incluídas na avaliação do cenário final.

Medidas de melhoria não incluídas na avaliação do cenário final.

Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora



Direcção Geral  
de Energia e Geologia

3 de 8



**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

**Certificado Energético**  
Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCE143375427



#### RECOMENDAÇÕES SOBRE SISTEMAS TÉCNICOS

Dada a natureza e diversidade dos edifícios de comércio e serviços, estes apresentam um potencial de melhoria e otimização muito variado. Pese embora este facto, os sistemas técnicos responsáveis pelo aquecimento e arrefecimento, bem como pela produção de águas quentes sanitárias, são determinantes no consumo de energia. Face a essa importância é essencial que sejam promovidas, com regularidade, ações que assegurem o correto funcionamento desses equipamentos, especialmente em sistemas com caldeiras que produzam água quente sanitária e/ou aquecimento, bem como sistemas de ar condicionado. A implementação destas ações em articulação com um Técnico de Instalação e Manutenção (TIM), contribuem para manter esses sistemas regulados de acordo com as suas especificações, garantir a segurança e o funcionamento otimizado do ponto de vista energético e ambiental.

Nas situações de aquisição de novos equipamentos ou de substituição dos atuais, deverá obter, através um técnico qualificado, informação sobre o dimensionamento e características adequadas em função das necessidades. A escolha correta de um equipamento permitirá otimizar os custos energéticos e de manutenção durante a vida útil do mesmo.

Estas recomendações foram produzidas pela ADENE - Agência para a energia. Caso necessite de obter mais informações sobre como melhorar o desempenho dos seus equipamentos, contacte esta agência ou um técnico qualificado.

#### DEFINIÇÕES

**Energia Renovável** - Energia proveniente de recursos naturais renováveis como o sol, vento, água, biomassa, geotermia entre outras, cuja utilização para suprimento dos diversos usos no edifício contribui para a redução do consumo de energia fóssil deste.

**Emissões CO<sub>2</sub>** - Indicador que traduz a quantidade de gases de efeito de estufa libertados para a atmosfera em resultado do consumo de energia nos diversos usos considerados no edifício.

**Valores de Referência** - Valores que expressam o desempenho energético dos elementos construtivos ou sistemas técnicos e que conduzem ao cenário de referência determinado para efeito de comparação com o edifício real.

**Condições Padrão** - Condições consideradas na avaliação do desempenho energético do edifício, admitindo-se para este efeito, uma temperatura interior compreendida entre 20°C e 25°C.

**Plano de Racionalização Energética (PRE)** - Plano para a implementação de um conjunto de medidas exequíveis e economicamente viáveis, identificadas através de uma avaliação energética. A obrigação de implementação deste plano, é determinada de acordo com um conjunto de critérios e apenas aplicável aos Grandes Edifícios de Serviços.

#### INFORMAÇÃO ADICIONAL

Tipo de Certificado Certificado Grande Intervenção	Código do Ponto de Entrega de Consumo PT0002000117406299NL
Nome do PQ NUNO MIGUEL MORÃO ENES GONÇALVES	Nº do Documento Anterior SCE0000122039825
Número do PQ PQ00198	Morada Alternativa Quinta de Santo André de Coimbra (Confrontação Sul – Rua de Coimbra), ,
Data de Emissão 09/03/2017	
Nome do TIM Paulo Manuel Ferreira Jerónimo	

#### NOTAS E OBSERVAÇÕES

A classe energética foi determinada com base na comparação do desempenho energético do edifício nas condições em que este se encontra, face ao desempenho que o mesmo teria com uma envolvente e sistemas técnicos de referência. Considera-se que os edifícios devem garantir as condições de conforto dos ocupantes, pelo que, caso não existam sistemas de climatização no edifício/fração, assume-se a sua existência por forma a permitir comparações objetivas entre edifícios.

Os consumos efetivos do edifício/fração podem divergir dos consumos previstos neste certificado, pois dependem da ocupação e padrões de comportamento dos utilizadores.

Entidade Gestora  
  
AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora  
 Direcção Geral  
de Energia e Geologia

4 de 8





**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

**Certificado Energético**  
Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCE143375427



Esta secção do certificado energético apresenta, em detalhe, os elementos considerados pelo Perito Qualificado no processo de certificação do edifício/fração. Esta informação encontra-se desagregada entre os principais indicadores energéticos e dados climáticos relativos ao local do edifício, bem como as soluções construtivas e sistemas técnicos identificados em projeto e/ou durante a visita ao imóvel. As soluções construtivas e sistemas técnicos encontram-se caracterizados tendo por base a melhor informação recolhida pelo Perito Qualificado e apresentam uma indicação dos valores referenciais ou limites admissíveis (quando aplicáveis).

RESUMO DOS PRINCIPAIS INDICADORES			DADOS CLIMÁTICOS	
Sigla	Descrição	Valor / Referência	Descrição	Valor
IEE	Indicador de Eficiência Energética (kWhEP/m².ano)	606,4 / 690,7	Altitude	80 m
IEEs	Indicador de Eficiência Energética de Consumos do tipo S (kWhEP/m².ano)	206,7 / 282,4	Graus-dia (18° C)	1216
IEEt	Indicador de Eficiência Energética de Consumos do tipo T (kWhEP/m².ano)	399,7 / 408,3	Temperatura média exterior (I / V)	9,9 / 22,7 °C
IEEren	Indicador de Eficiência Energética Renovável (kWhEP/m².ano)	0,0	Zona Climática de inverno	I1
Eren, ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,0	Zona Climática de verão	V3

PAREDES, COBERTURAS, PAVIMENTOS E PONTES TÉRMICAS PLANAS				
Descrição dos Elementos Identificados	Área Total [m²]	Coeficiente de Transmissão Térmica* [W/m².°C]		
		Solução	Referência	Máximo
<b>Paredes</b>				
Parede em contacto com exterior, medindo cerca de 67 cm de espessura total e constituída (do interior para o exterior) por revestimento em reboco tradicional com 2 cm de espessura, massa superficial de 38 kg/m² e resistência térmica de 0,015 (m².°C)/W; pano de alvenaria em bloco térmico 15 cm com 15 cm de espessura, massa superficial de 132 kg/m² e resistência térmica de 0,79 (m².°C)/W; caixa-de-ar de fluxo horizontal com 30 cm de espessura; pano de alvenaria em bloco térmico 15 cm com 15 cm de espessura, massa superficial de 132 kg/m² e resistência térmica de 0,79 (m².°C)/W; isolamento térmico em poliestireno expandido moldado com 4 cm de espessura, massa superficial de 1 kg/m² e resistência térmica de 1 (m².°C)/W; revestimento em reboco tradicional com 1 cm de espessura, massa superficial de 19 kg/m² e resistência térmica de 0,015 (m².°C)/W.	972,4	0,34	0,70	0,70
<b>Coberturas</b>				
Coertura inclinada em contacto com exterior, medindo 8,22 cm de espessura total e constituída (do interior para o exterior) por revestimento em aço com 0,07 cm de espessura, massa superficial de 5 kg/m² e resistência térmica de 0 (m².°C)/W; isolamento térmico em lâ de rocha – MW, com 8 cm de espessura, massa superficial de 5,6 kg/m² e resistência térmica de 2,00 (m².°C)/W; revestimento em cloreto de polivinilo - PVC com 0,15 cm de espessura, massa superficial de 2,1 kg/m² e resistência térmica de 0,009 (m².°C)/W.	2200,0	0,47	0,50	0,50

\* Menores valores representam soluções mais eficientes.

#### VÃOS ENVIDRAÇADOS

Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora



**Direcção Geral  
de Energia e Geologia**

5 de 8



**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

**Certificado Energético**  
Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCE143375427



Descrição dos Elementos Identificados	Área Total [m²]	Coef. de Transmissão Térmica* [W/m².°C]		Fator Solar	
		Solução	Referência	Vidro	Global
VE1 - Vão envidraçado simples, orientado a SO e SE, formado por vidro duplo incolor (10 mm) + caixa-de-ar 16 mm + vidro laminado interior (66.2 mm), com caixilharia em alumínio termolacado com corte térmico e com proteção solar interior (estore de lona, considerado como cortina ligeiramente transparente). Estore de lona, considerado como cortina ligeiramente transparente	191,5	1,30	4,30	0,28	0,18
VE2 - Vão envidraçado simples, orientado a S, formado por vidro duplo incolor (10 mm) + caixa-de-ar 16 mm + vidro laminado interior (66.2 mm), com caixilharia em alumínio termolacado com corte térmico, com película interior (COOL-LITE SKN 145) e com pala horizontal.	38,0	1,30	4,30	0,22	0,22
VE3 - Vão envidraçado simples, formado por vidro duplo incolor (8 mm) + caixa-de-ar 14 mm + vidro laminado interior (55.1 mm), com caixilharia em alumínio termolacado com corte térmico e com proteção solar exterior (estore veneziano de lâminas metálicas). estore veneziano de lâminas metálicas	12,6	1,40	4,30	0,28	0,03
CLAR1 - Vão simples constituído por um elemento em policarbonato incolor translúcido com 6 mm de espessura, sendo a caixilharia em alumínio termolacado. O valor do coeficiente de transmissão térmica está de acordo com o ITE50. A marca de referência é COLT.	26,8	4,30	4,30	0,50	0,50
Clarab2 - Vão simples constituído por um elemento em policarbonato alveolar incolor translúcido com 16 mm de espessura, opalescente, sendo a caixilharia em alumínio termolacado.	14,4	2,10	4,30	0,42	0,42

\* Menores valores representam soluções mais eficientes.

#### SISTEMAS TÉCNICOS E VENTILAÇÃO

Descrição dos Elementos Identificados	Uso	Consumo de Energia [kWh/ano]	Potência Nominal [kW]	Desempenho Nominal*	
				Solução	Ref.
<b>Compacto</b> A climatização da área de vendas é efetuada por 1 unidade de expansão direta, compacta horizontal, do tipo bomba de calor, com possibilidade de free cooling, instalada em estrutura metálica exterior devidamente prevista para o efeito, com ligações verticais à rede de condutas de insuflação e de retorno. Trata-se de uma unidade modelo Energy E019 AH106FM1M da Lennox, com capacidade nominal de aquecimento de 107.27 kW (COP=3.41) e capacidade nominal de arrefecimento de 106.01 kW (EER=3.03).		75,40	107,27	3,41	3,00
		61.040,10	106,01	3,03	2,90

\*Valores maiores representam soluções mais eficientes.

Descrição dos Elementos Identificados	Uso	Consumo de Energia [kWh/ano]	Potência Nominal [kW]	Desempenho Nominal*	
				Solução	Ref.
<b>VRV</b> Para assegurar o tratamento ambiente do armazém e cais noturno foi instalado um sistema autónomo, de expansão direta do tipo VRV, bomba de calor, modelo RXYQ10T da Daikin, com capacidade nominal de aquecimento de 28.0 kW (COP=4.45) e capacidade nominal de arrefecimento de 28.0 kW (EER=3.84).		73,00	28,00	4,45	3,00
		5.795,00	28,00	3,84	2,90

\*Valores maiores representam soluções mais eficientes.

Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora



**Direcção Geral  
de Energia e Geologia**


6 de 8



**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

**Certificado Energético**  
Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCE143375427



Descrição dos Elementos Identificados	Uso	Consumo de Energia [kWh/ano]	Potência Nominal [kW]	Desempenho Nominal*	
				Solução	Ref.
Multi-Split					
Na sala do pessoal e sala de aprendizagem a climatização é efetuada por uma unidade de expansão direta bomba de calor do tipo split, modelo 2MXS50H da Daikin, com capacidade nominal de aquecimento de 5.7 kW (COP=4.13) e capacidade nominal de arrefecimento de 5.0 kW (EER=3.82).		0,10	5,70	4,13	3,00
		4.051,60	5,00	3,82	2,90
Na sala do chefe, sala CCTV e escritório a climatização é efetuada por uma unidade de expansão direta bomba de calor do tipo multi-split, modelo 3MXS68G da Daikin, com capacidade nominal de aquecimento de 8.60 kW (COP=3.68) e capacidade nominal de arrefecimento de 6.8 kW (EER=3.29).		0,04	8,60	3,68	3,00
		4.158,20	6,80	3,29	2,90


\*Valores maiores representam soluções mais eficientes.

Descrição dos Elementos Identificados	Uso	Consumo de Energia [kWh/ano]	Potência Nominal [kW]	Desempenho Nominal*	
				Solução	Ref.
Split					
Na sala IT a climatização é efetuada por duas unidades bomba de calor do tipo split, modelo RXS35L3 da Daikin, com capacidade nominal de aquecimento de 4.0 kW (COP=4.76) e capacidade nominal de arrefecimento de 3.5 kW (EER=3.89).		0,03	4,00	4,76	3,00
		61,80	3,50	3,89	2,90
Na sala de quadros foi instalada uma unidade bomba de calor do tipo split, modelo RXS20L3 da Daikin, com capacidade nominal de aquecimento de 2.5 kW (COP=4.72) e capacidade nominal de arrefecimento de 2.0 kW (EER=4.39).		9,20	2,50	4,72	3,00
		50,70	2,00	4,39	2,90

\*Valores maiores representam soluções mais eficientes.

Descrição dos Elementos Identificados	Uso	Consumo de Energia [kWh/ano]	Potência Nominal [kW]	Perdas estáticas	
				Solução	Máximo
Termoacumulador					
A produção de AQS é efetuada por 1 termoacumulador elétrico da Videira.		1.994,00	2,00	1,25	1,50

\*Valores menores representam soluções mais eficientes.

Descrição detalhada	Iluminação	Consumo [kWh/ano]	Tipo de Lâmpada	Potência [kW]
Iluminação interior				
O sistema de iluminação artificial é do tipo LED, verifica-se uma potência total instalada de 19 609 W, densidade total de iluminação instalada de 8.27 W/m2 e por tipologia de: • Supermercado = 9.75 W/m2; • Armazém = 3.57 W/m2; • Zonas técnicas = 5.08 W/m2. • Salas de informação e dados (data center) = 6.75 W/m2.		87.653	Leds	19.6

Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora



**Direcção Geral  
de Energia e Geologia**

7 de 8





**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

**Certificado Energético**  
Grande Edifício de Comércio e Serviços  
SCE143375427



#### Iluminação exterior

Para a iluminação exterior está previsto a instalação de postes de iluminação e projectores de fachada do tipo LED.



12.054

Leds

2.8

#### Descrição dos Elementos Identificados

• Uso •

• Tipologia •

Caudal de Ar  
[m³/h]

Insuflação\*

Extração

#### Ventilação Mecânica

A renovação do ar da área de vendas é efetuada por uma unidade de expansão direta compacta horizontal, do tipo bomba de calor, com possibilidade de free cooling e um único ventilador, modelo Energy E019 AH106 FM1M da Lennox, caudal de ar insuflado de 19000 m³/h, caudal de retorno de 15300 m³/h e ventilador de 4.52 kW. A quantidade de ar novo é controlada por uma sonda de QAI, para uma variação do registo de ar novo de 20-100%.

Nas restantes zonas a renovação do ar é efetuada por sistema de ventilação mecânica, com ventiladores de insuflação, equipados com dois módulos de filtragem do tipo G4+F6, e ventiladores de extração.



Supermercados

5600,00

5950,00

Centros de  
armazenagem de  
dados (Data Center)

200,00

200,00

\*Respeitante apenas a caudal de ar novo

#### Medida de Melhoria

1

Instalação de sistemas de regulação de fluxo (dimmers) com células fotolétricas para controlo e regulação dos sistemas de iluminação

Introdução de regulação de fluxo nos circuitos de iluminação da zona das caixas. A instalação de sensores crepusculares nos circuitos de iluminação junto da zona das caixas, permite otimizar os níveis de iluminação naquele local de forma a reduzir os consumos de energia em cerca de 10% da iluminação total consumida. Implica a instalação de 4 detetores de presença, sendo um do tipo "master" e 3 do tipo "slave". Implica um investimento de 1000€, o que se traduz numa redução anual de cerca de 1200€.

#### Medida de Melhoria

2

Instalação de túneis de luz e sistema de regulação de fluxo

Instalação de tubos de luz de forma a privilegiar a iluminação natural. Redução do consumo em iluminação interior através da instalação de tubos de luz. A iluminação interior corresponde a mais de 30% do consumo de energia do edifício em termos de energia primária, assim reduzindo a energia consumida com recurso à tecnologia de tubos de luz é possível obter uma redução do consumo de eletricidade otimizando a eficiência energética do edifício. A instalação de cerca de 40 tubos de luz implica um investimento de cerca de 26.000€, pelo que se traduz numa poupança de 4600€/ano.

#### Legenda:

##### Uso

Aquecimento  
AmbienteArrefecimento  
AmbienteÁgua Quente  
Sanitária

Iluminação

Outros Usos  
(Eren, Ext)Ventilação e  
Extração

Ascensores



Escadas Mecânicas e Tapetes Rolantes

Sistemas de Regulação, Controlo e Gestão  
Técnica

Entidade Gestora



AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidade Fiscalizadora

Direcção Geral  
de Energia e Geologia

8 de 8

**AFIXAÇÃO DO CERTIFICADO ENERGÉTICO**

VERSÕES ALTERNATIVAS OU COMPLEMENTARES

**Nota de apoio à utilização da informação nesta página**

De acordo com o estabelecido no Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto, os edifícios ou frações de comércio e serviços devem afixar os certificados energéticos em posição visível e de destaque. Esta obrigação recai, tipicamente, sobre edifícios que apresentem uma área útil de pavimento superior a 500m<sup>2</sup>, ou, a partir de 1 de julho de 2015, superior a 250m<sup>2</sup> e refere-se em concreto à afixação da 1ª página do certificado.

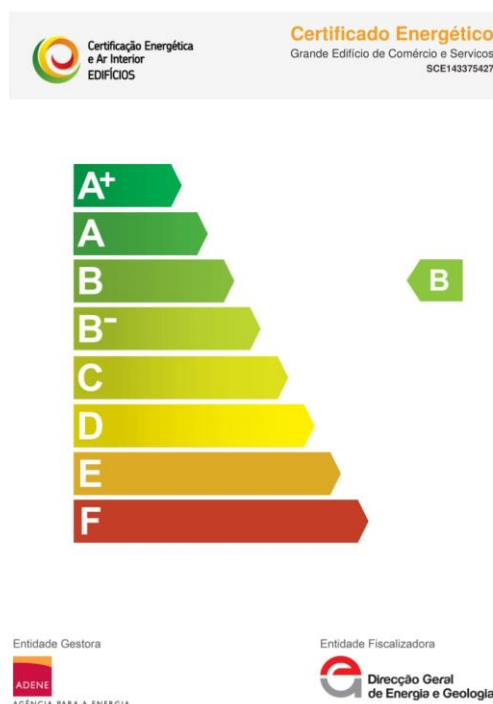
Para além deste dever, a afixação do certificado energético demonstra um compromisso e preocupação com aspetos relacionados com o desempenho energético dos edifícios. Permite igualmente dar a conhecer aos utilizadores do edifício, o desempenho energético que este apresenta.

Atendendo à possibilidade de alguns edifícios apresentarem constrangimentos na afixação da 1ª página do certificado, quer pela sua dimensão em A4, quer pela inexistência de um local que o permita fazer de uma forma visível e destacada, foram criadas versões alternativas.

As versões alternativas aqui apresentadas, podem ser usadas como alternativa ou complemento da 1ª página do certificado energético. A escolha do modelo a utilizar fica ao critério do proprietário, podendo este utilizar qualquer uma das versões apresentadas.

O layout desta página encontra-se preparado para dar resposta à impressão sobre papel autocolante. Para esse efeito, poderá ser usado qualquer papel A4 que apresente uma configuração de 4 etiquetas por página (etiquetas com 105mm x 148,5mm).

Em algumas circunstâncias, poderá ser especialmente relevante a compatibilidade entre o suporte onde a etiqueta será afixada e o tipo de papel escolhido, bem como a exposição que o mesmo terá ao exterior.



## 6.7 ANEXO 7

### 6.7.1 Relatório da simulação de energia gerado pelo Revit® em condições reais

#### Relatório da Análise de Energia do Autodesk Revit

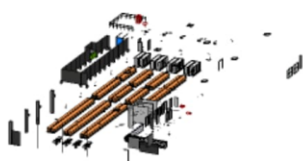


#### TESE OFICIAL

Tese\_MODELO PADRÃO\_PTBR\_143 pessoas

Analisado em 02/10/2017 14:04:37

#### Resultado da análise de energia do Revit



#### Fatores de desempenho do edifício

Localização:	Tomar, Santarem
Estação de meteorologia:	125579
Temperatura externa:	Máx: 40°C/Mínimo: -3°C
Área do piso:	2.372 m²
Área da parede externa:	992 m²
Potência média de iluminação:	7.97 W/m²
Pessoas:	143 pessoas
Coefficiente de janela externa:	0,31
Custo de eletricidade:	\$ 0,13/kWh
Custo de combustível:	\$ 1,22/Térmica

#### Intensidade de utilização de energia

EUI de eletricidade:	254 kWh/sm/ano
EUI de combustível:	28 MJ/sm/ano
EUI total:	944 MJ/sm/ano

#### Utilização/Custo do ciclo de vida da energia

Utilização de ciclo de vida da eletricidade:	18,068,037 kWh
Utilização do ciclo de vida do combustível:	2,003,389 MJ
Custo de ciclo de vida da energia:	\$ 1.055,565

\*Vida por 30 anos e 6.1% de taxa de desconto para custos

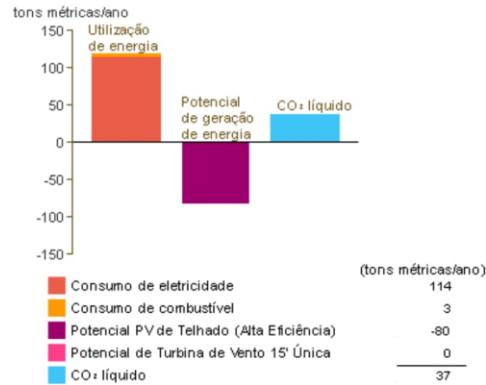
#### Potencial de energia renovável

Sistema PV Montado no Telhado (Baixa eficácia):	141,632 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Média eficácia):	283,263 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Alta eficácia):	424,895 kWh/ano
Potencial de Turbina de Vento 15' Única:	1,165 kWh/ano

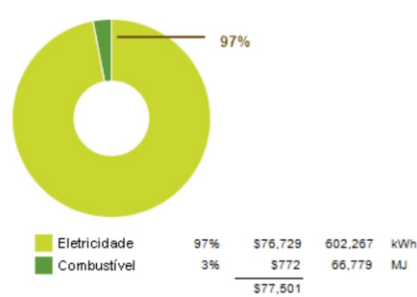
\*As eficácias PV são assumidas como 5%, 10% e 15% para sistemas de baixa, média de alta eficácia

Relatório da Análise de Energia do Autodesk Revit

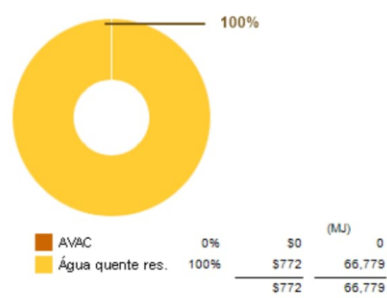
Emissões anuais de carbono



Utilização/Custo anual de energia

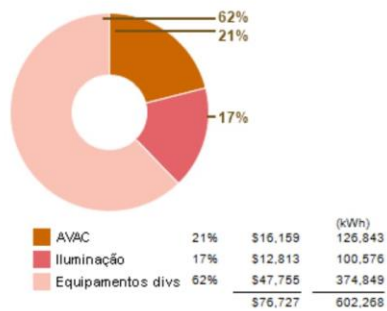


Utilização da energia: Combustível



Utilização de energia: Eletricidade

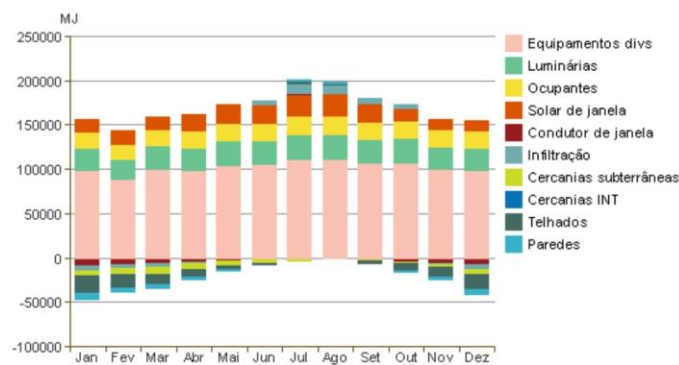
## Relatório da Análise de Energia do Autodesk Revit



## Carga mensal de aquecimento

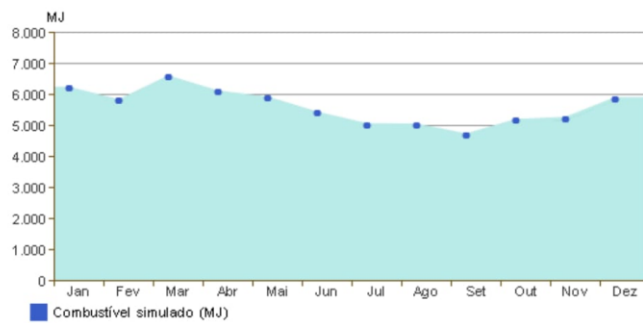


## Carga mensal de refrigeração

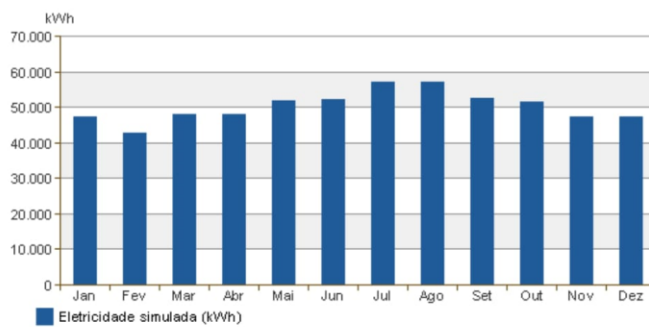


## Consumo mensal de combustível

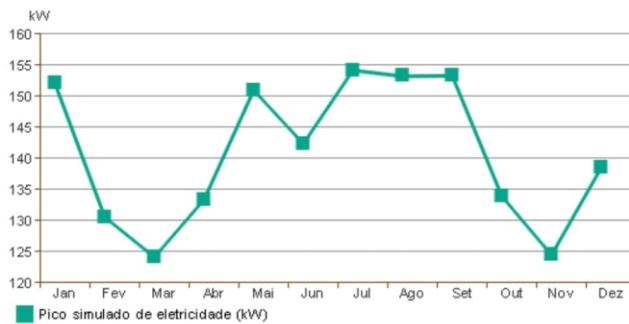
## Relatório da Análise de Energia do Autodesk Revit



## Consumo mensal de eletricidade

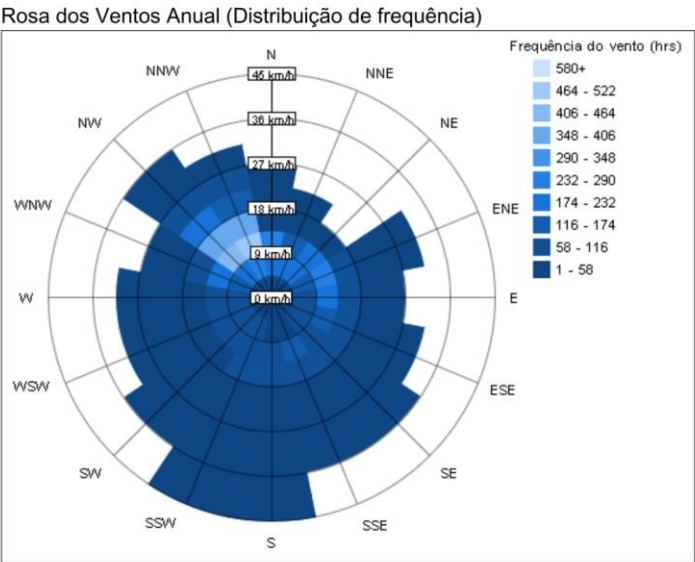
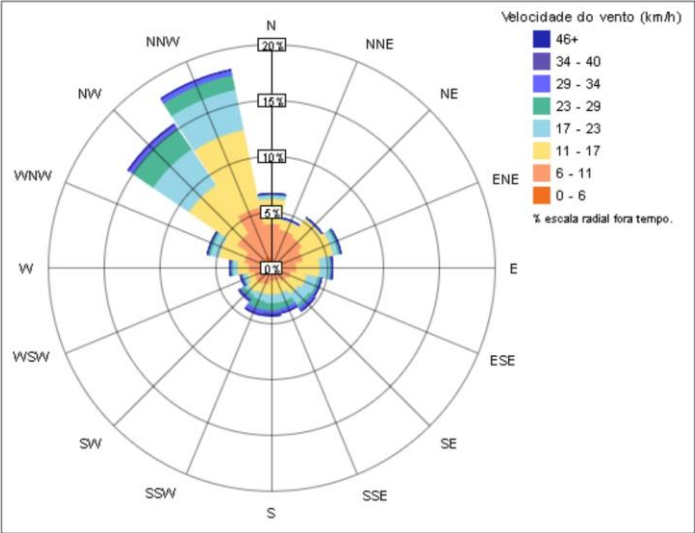


## Demanda mensal no pico



## Rosa dos Ventos Anual (Distribuição de velocidade)

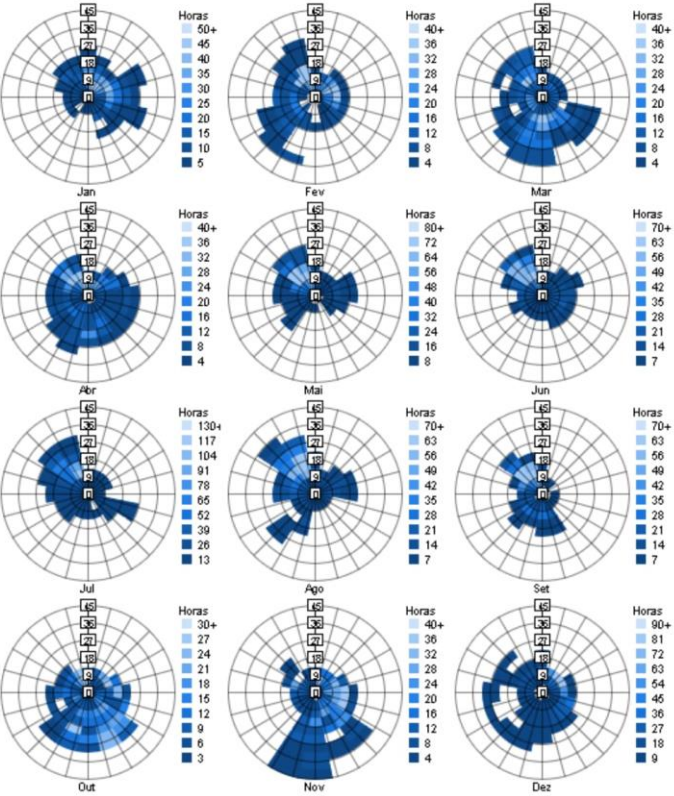
Relatório da Análise de Energia do Autodesk Revit



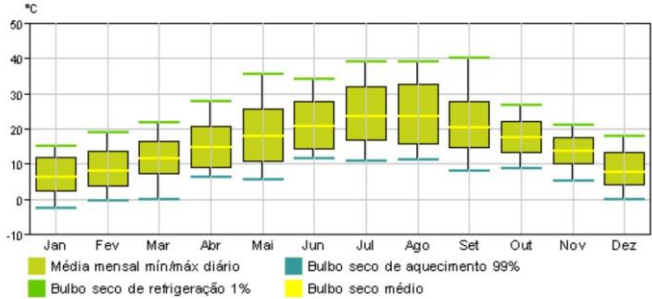
Rosas de Vento Mensais



Relatório da Análise de Energia do Autodesk Revit



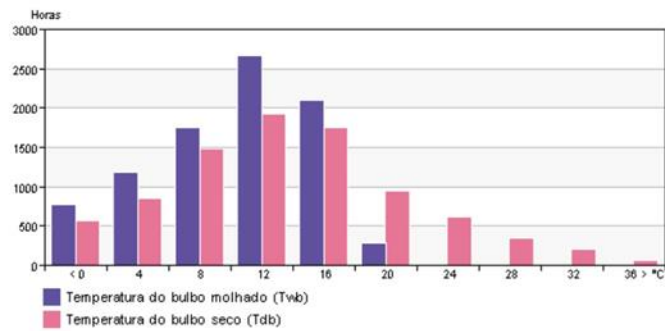
Dados mensais do projeto



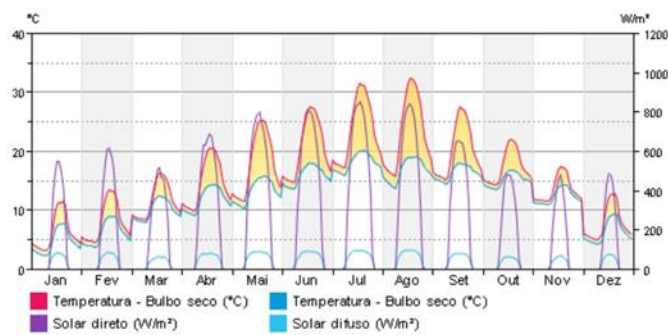
Faixa anual de temperatura



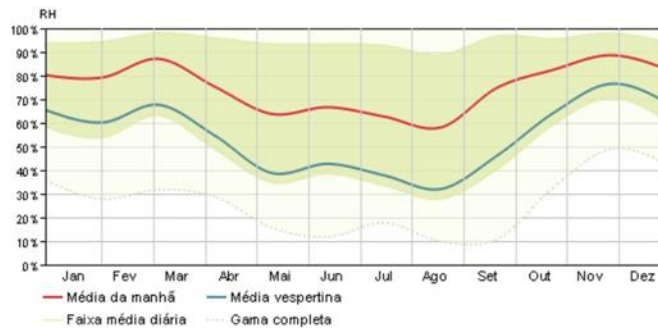
### Relatório da Análise de Energia do Autodesk Revit



### Média diurna do clima



### Humidade



© Copyright 2015 Autodesk, Inc. All rights reserved. Portions of this software are copyrighted by James J. Hirsch & Associates, the Regents of the University of California, and others.

### Energy Analysis Data

## 6.8 ANEXO 8

### 6.8.1 Tabelas de operação do edifício padronizadas presentes no Revit®

Os perfis de densidade de ocupação são baseados nas normas ASHRAE, podem ser selecionados no Revit®, através da janela “Configurações avançadas de energia”. O eixo “y” dos perfis representa o multiplicador fracionário que deve ser multiplicado pela densidade de ocupantes do edifício, e o eixo “x”, representa as horas do dia, das 0h às 24h. Portanto, considerando que a densidade de ocupação do edifício seja 120 pessoas, e às 10h, o multiplicador fracionário é igual a 0,7, então a 84 pessoas ocupando o edifício as 10h ( $120 \times 0,7 = 84$  pessoas).

Os perfis de densidade padronizados são:

- 24/7 Facility;
- 24/6 Facility;
- 24/5 Facility;
- 12/7 Facility;
- 12/6 Facility;
- 12/5 Facility;
- K-12 School;
- Escola anual;
- Teatro/Artes cênicas;
- Igreja.

#### 6.8.1.1 24/7 Facility

##### **24/7 Facility - dias úteis:**

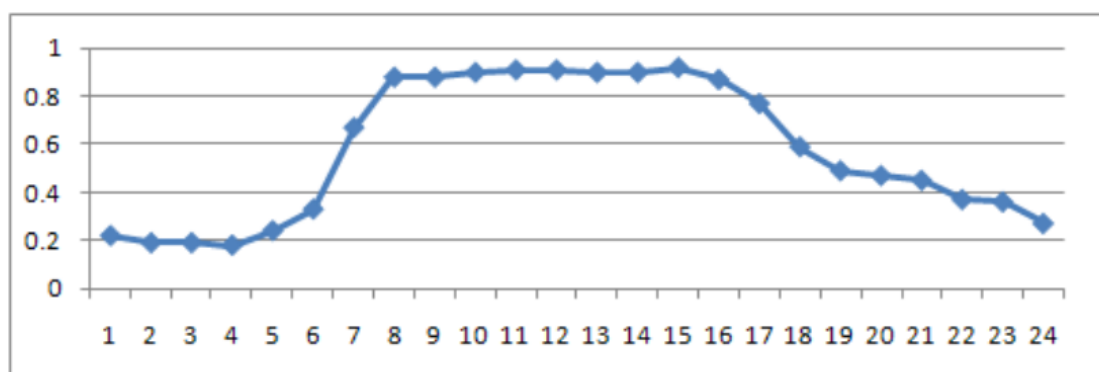


Figura 125 – Perfil de densidade de ocupação 24/7 Facility para dias úteis [135].

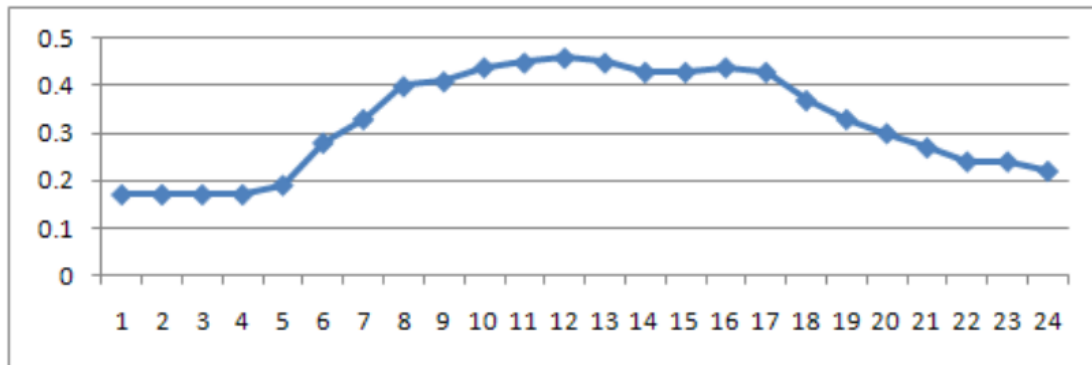
**24/7 Facility - sábados:**

Figura 126 - Perfil de densidade de ocupação 24/7 Facility para os sábados [135].

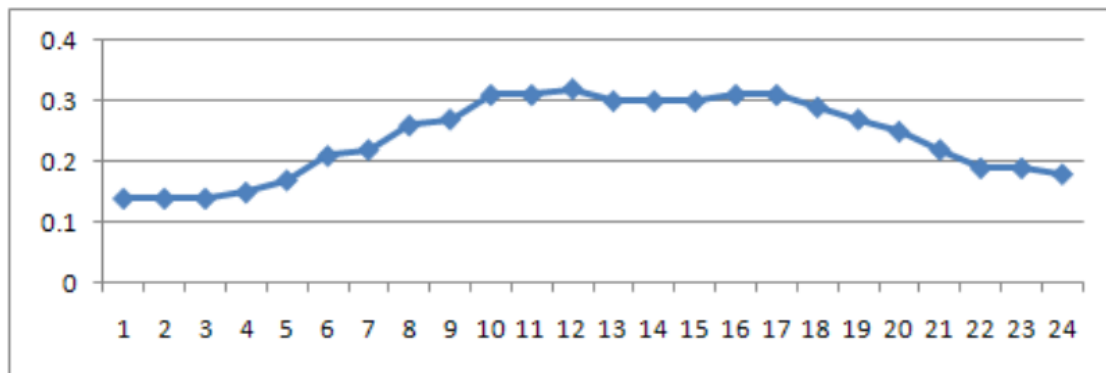
**24/7 Facility - domingos:**

Figura 127 - Perfil de densidade de ocupação 24/7 Facility para os domingos [135].

## 6.8.1.2 24/6 Facility

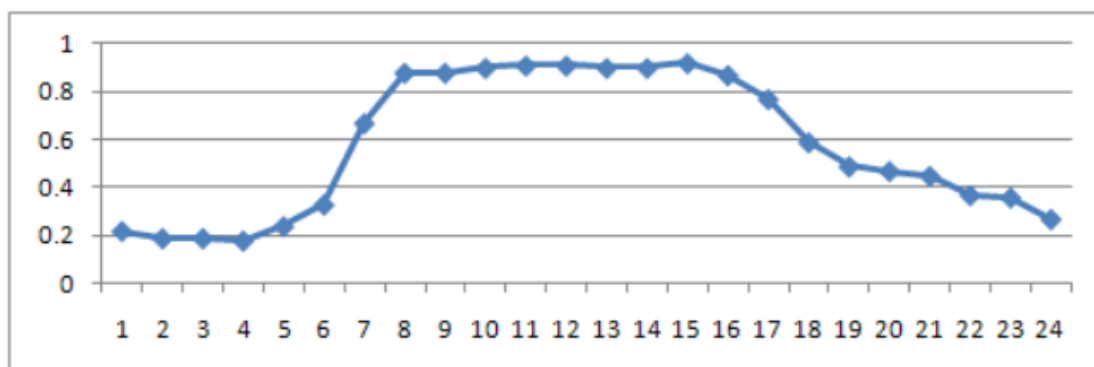
**24/6 Facility - dias úteis:**

Figura 128 - Perfil de densidade de ocupação 24/6 Facility para dias úteis [135].

### **24/6 Facility – sábados:**

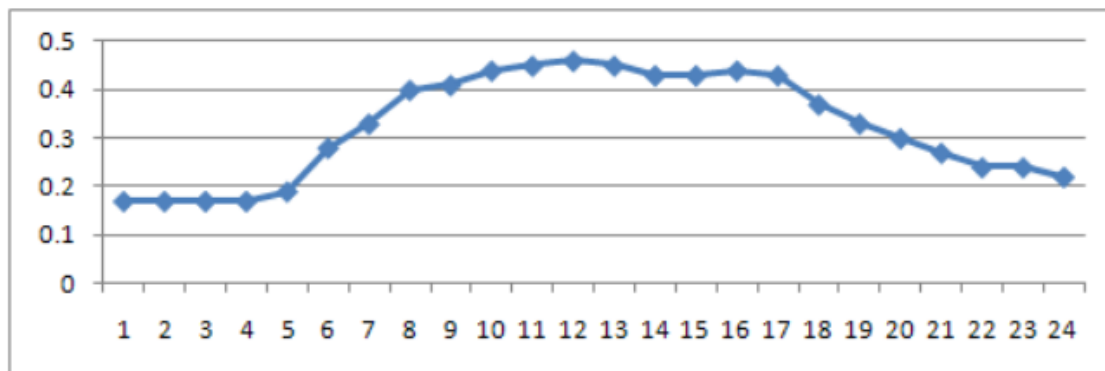


Figura 129 - Perfil de densidade de ocupação 24/6 Facility para os sábados [135].

### **24/6 Facility - domingos:**

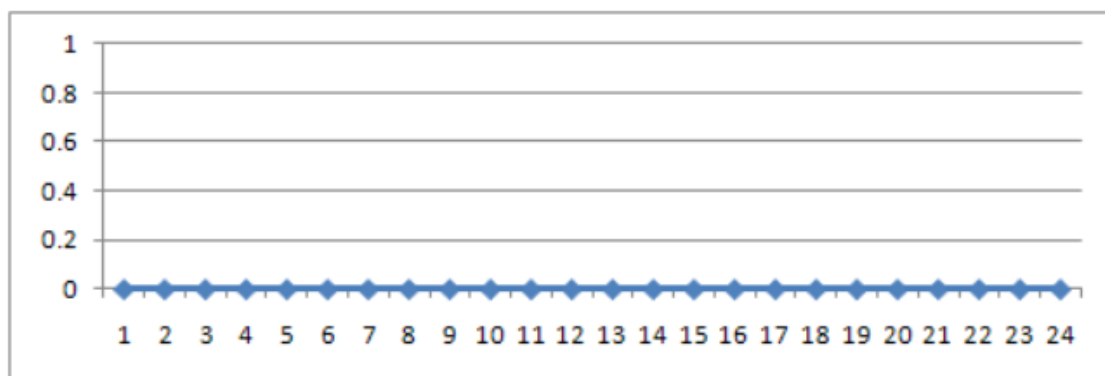


Figura 130 - Perfil de densidade de ocupação 24/6 Facility para os domingos [135].

### 6.8.1.3 24/5 Facility

### **24/5 Facility - dias úteis:**

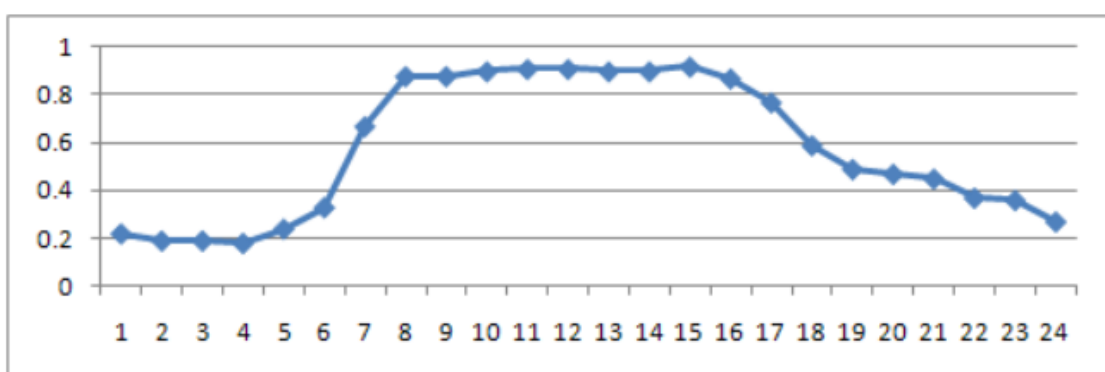


Figura 131 - Perfil de densidade de ocupação 24/5 Facility para dias úteis [135].

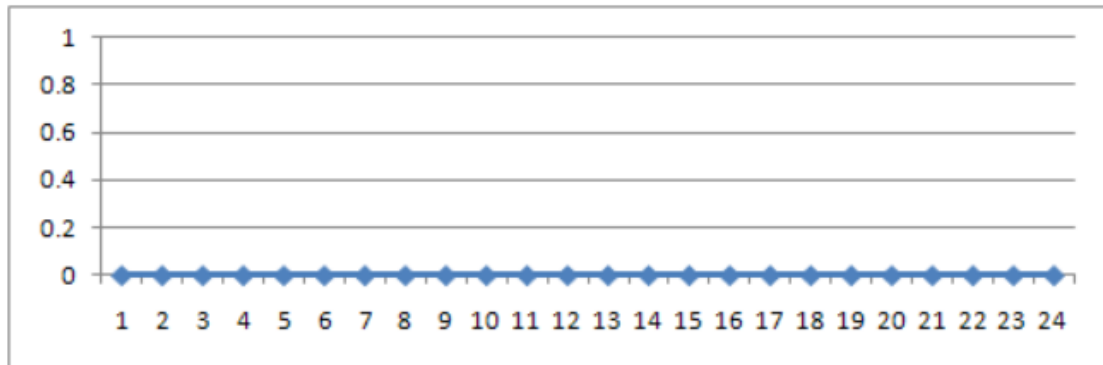
**24/5 Facility - sábados:**

Figura 132 - Perfil de densidade de ocupação 24/5 Facility para os sábados [135].

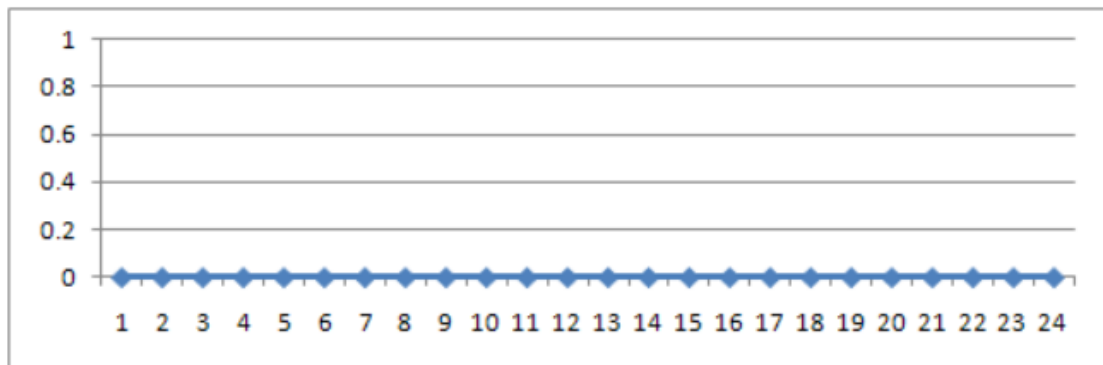
**24/5 Facility - domingos:**

Figura 133 - Perfil de densidade de ocupação 24/5 Facility para os domingos [135].

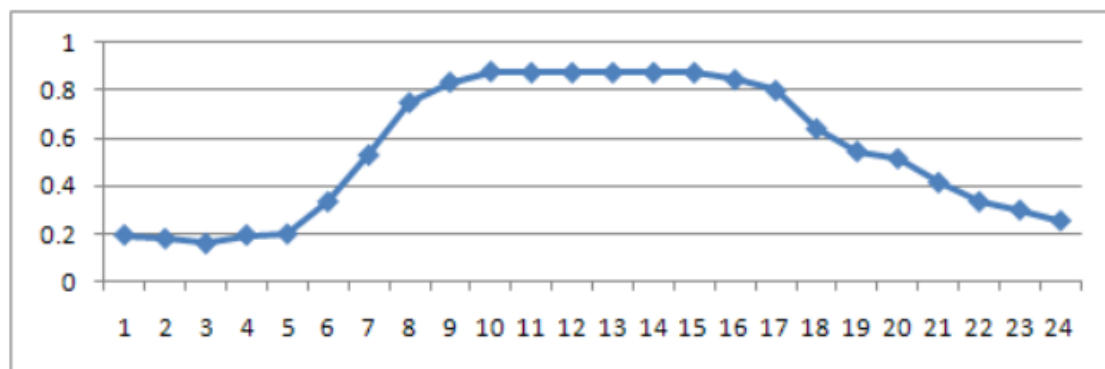
**6.8.1.4 12/7 Facility****12/7 Facility - dias úteis:**

Figura 134 - Perfil de densidade de ocupação 12/7 Facility para dias úteis [135].

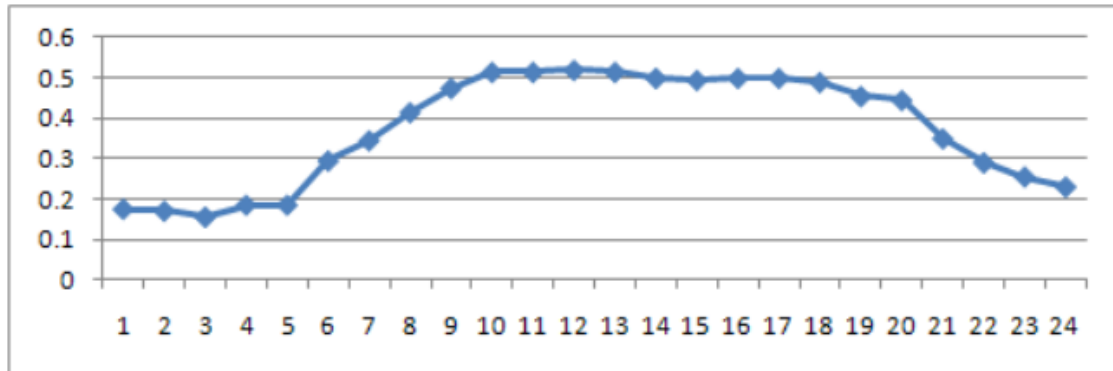
**12/7 Facility - sábados:**

Figura 135 - Perfil de densidade de ocupação 12/7 Facility para os sábados [135].

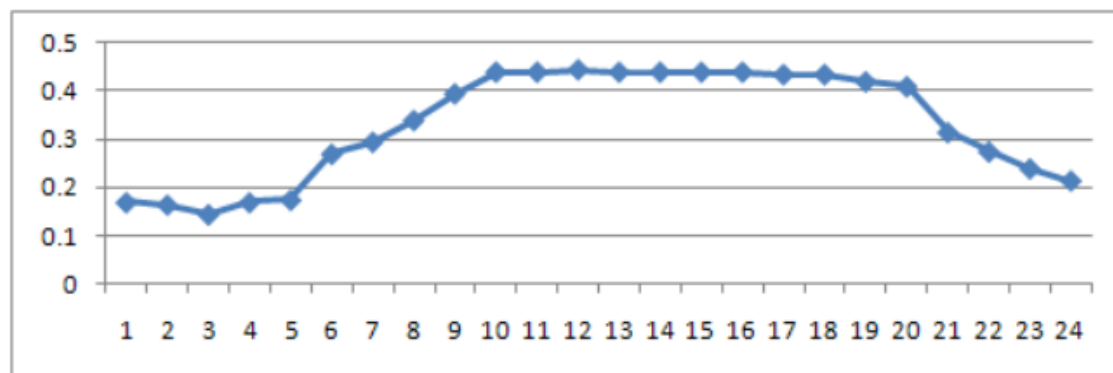
**12/7 Facility - domingos:**

Figura 136 - Perfil de densidade de ocupação 12/7 Facility para os domingos [135].

### 6.8.1.5 12/6 Facility

#### **12/6 Facility - dias úteis:**

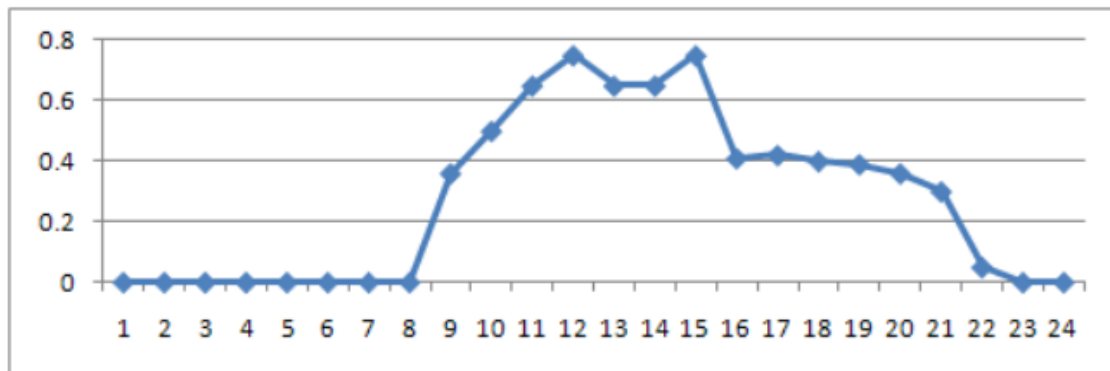


Figura 137 – Perfil de densidade de ocupação 12/6 Facility para dias úteis [135].

#### **12/6 Facility - sábados:**

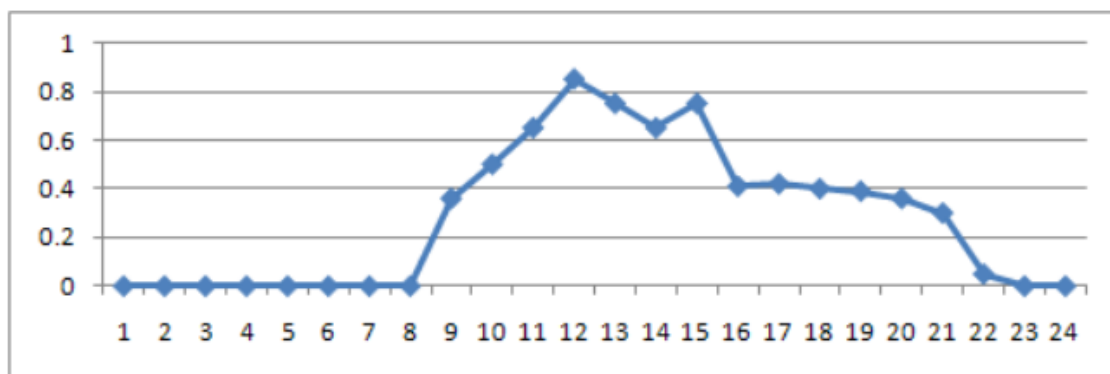


Figura 138 — Perfil de densidade de ocupação 12/6 Facility para os sábados [135].

#### **12/6 Facility - domingos:**

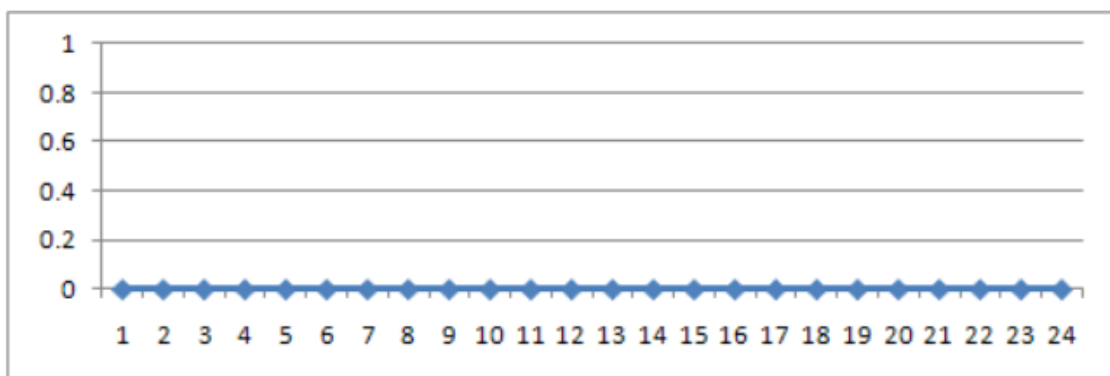


Figura 139 — Perfil de densidade de ocupação 12/6 Facility para os domingos [135].

### 6.8.1.6 12/5 Facility

#### **12/5 Facility - dias úteis:**

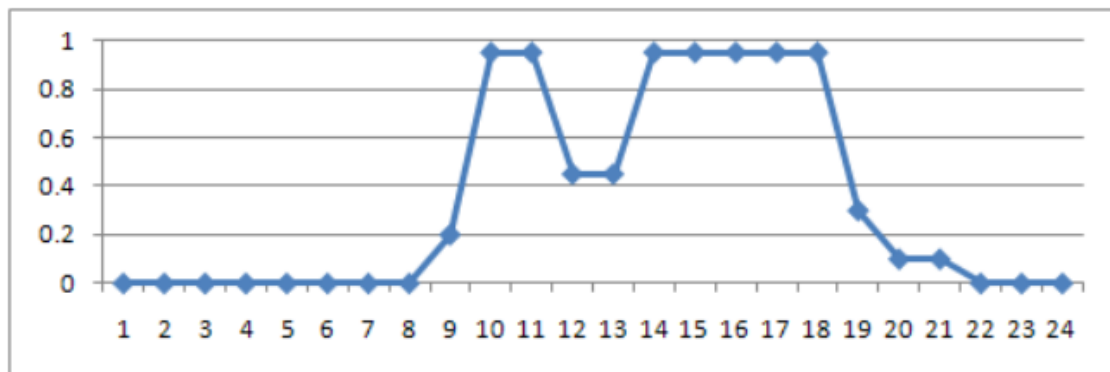


Figura 140 – Perfil de densidade de ocupação 12/5 Facility para dias úteis [135].

#### **12/5 Facility - sábados:**

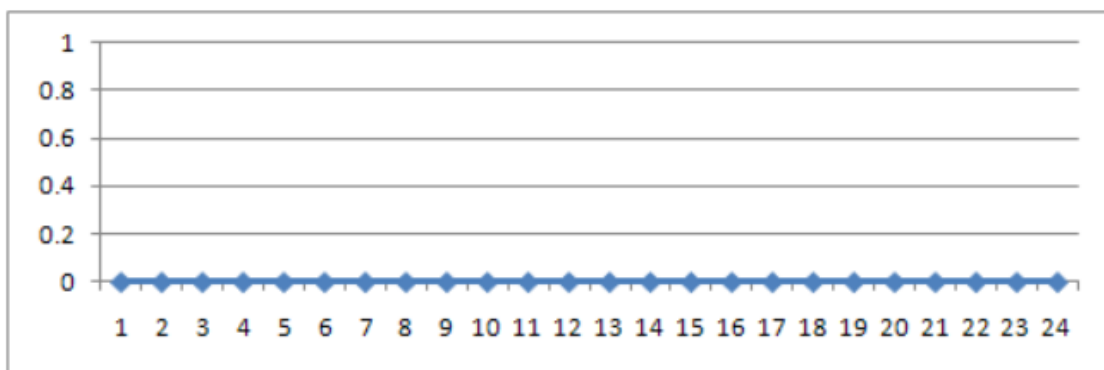


Figura 141 - Perfil de densidade de ocupação 12/5 Facility para os sábados [135].

#### **12/5 Facility - domingos:**

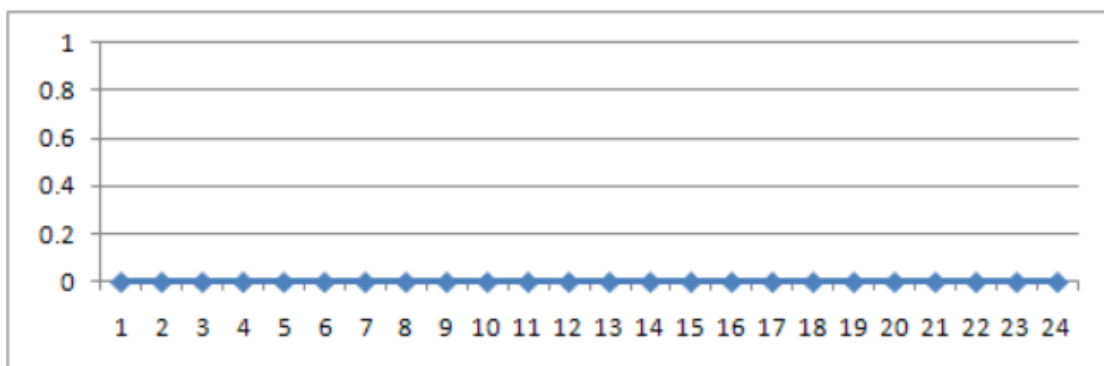


Figura 142 - Perfil de densidade de ocupação 12/5 Facility para os domingos [135].



### 6.8.1.7 K-12 School

Este perfil de densidade de ocupação de uma escola que possui o jardim até a 8ª série ou os graus primários e secundários, é aplicado apenas no período letivo, nas férias escolares não há ocupação [135].

#### **K-12 School - dias úteis:**

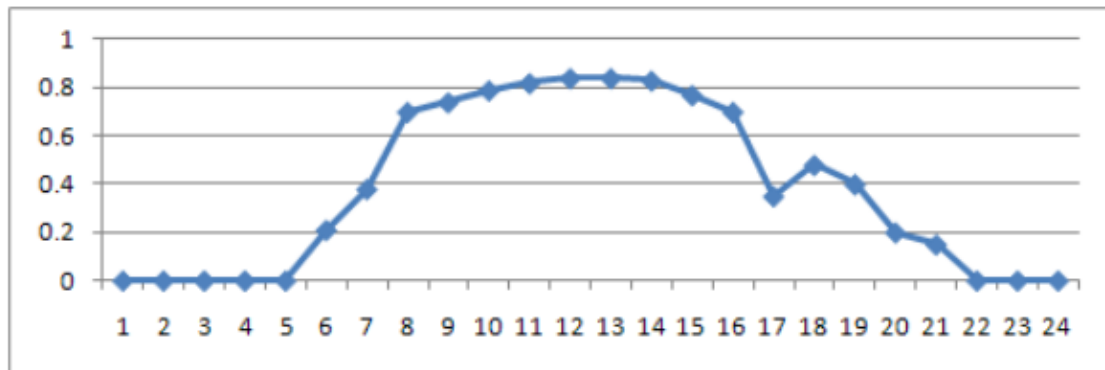


Figura 143 – Perfil de densidade de ocupação K-12 School para dias úteis [135].

#### **K-12 School - sábados:**

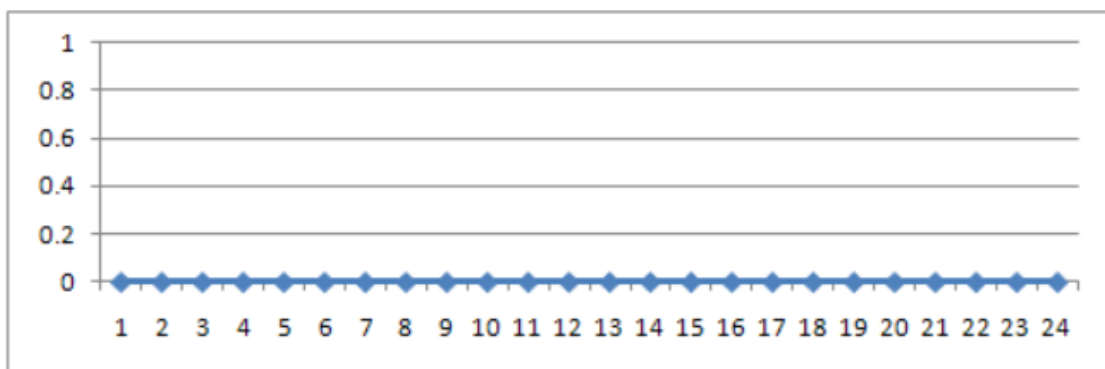


Figura 144 - Perfil de densidade de ocupação K-12 School para os sábados [135].

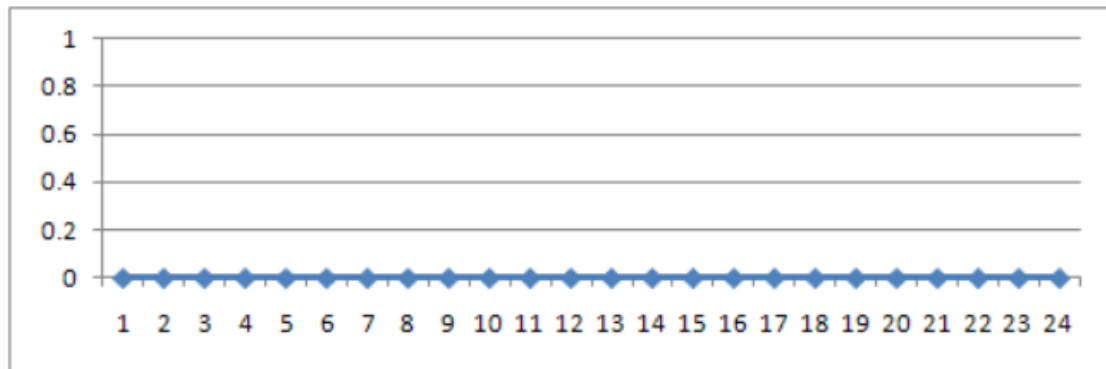
**K-12 School - domingos:**

Figura 145 - Perfil de densidade de ocupação K-12 School para os domingos [135].

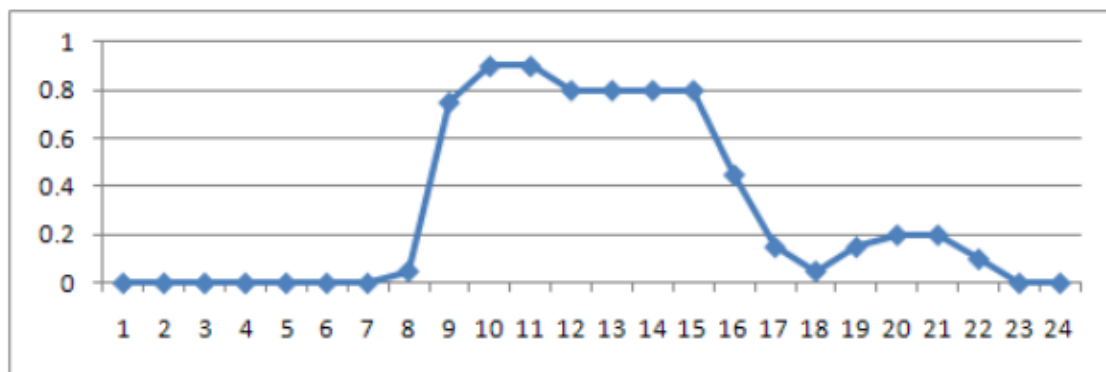
**6.8.1.8 Escola Anual****Escola Anual - dias úteis:**

Figura 146 – Perfil de densidade de ocupação da Escola Anual para dias úteis [135].

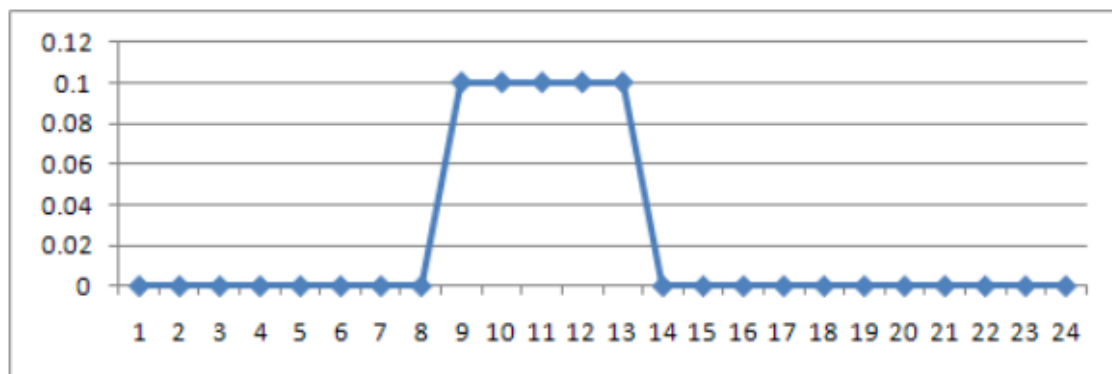
**Escola Anual - sábados:**

Figura 147 - Perfil de densidade de ocupação da Escola Anual para os sábados [135].

### Escola Anual - domingos:

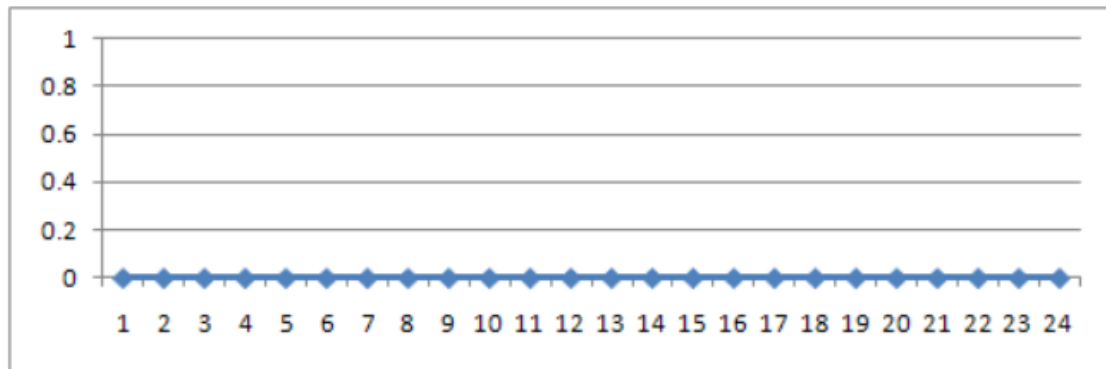


Figura 148 - Perfil de densidade de ocupação da Escola Anual para os domingos [135].

#### 6.8.1.9 Teatro/Artes cênicas

### Teatro/ Artes cênicas - dias úteis:

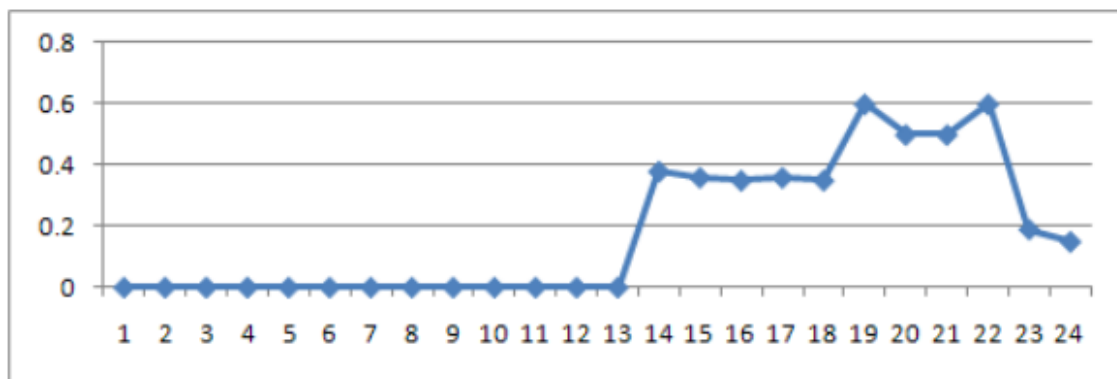


Figura 149 – Perfil de densidade de ocupação do Teatro/Artes cênicas para dias úteis [135].

### Teatro/ Artes cênicas - sábados:

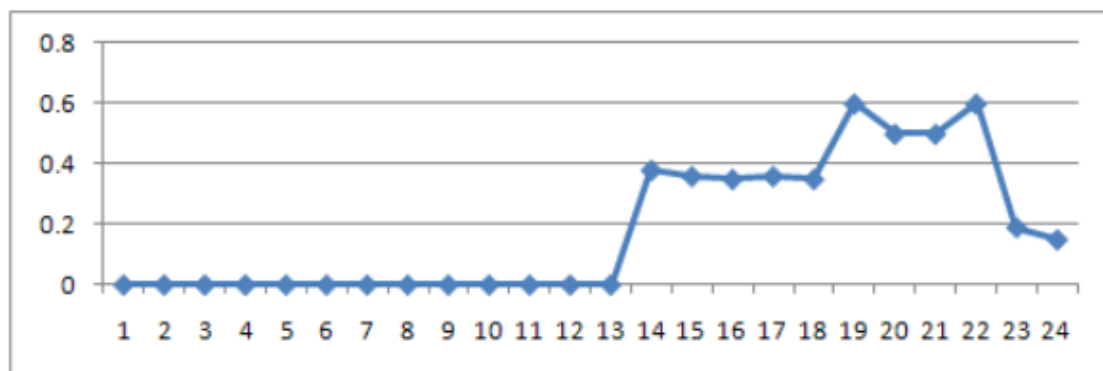


Figura 150 - Perfil de densidade de ocupação do Teatro/Artes cênicas para os sábados [135].

### Teatro/ Artes cênicas - domingos:

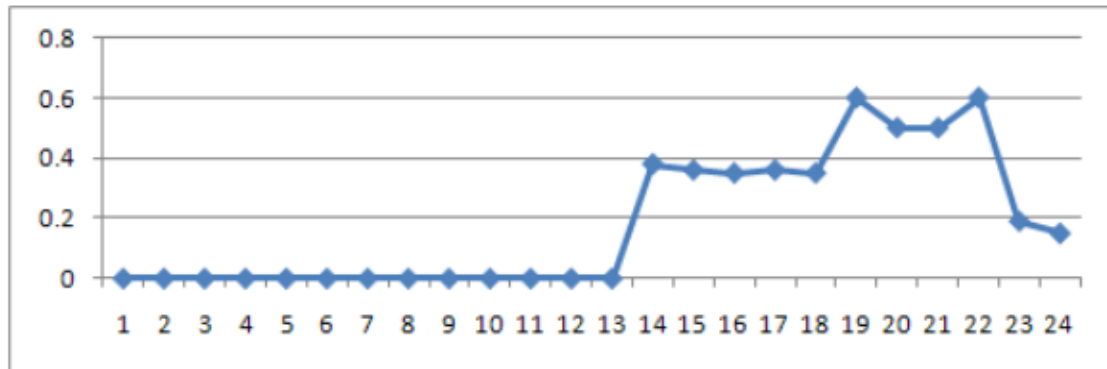


Figura 151 - Perfil de densidade de ocupação do Teatro/Artes cênicas para os domingos [135].

### *6.8.1.10 Igreja*

#### Igreja - dias úteis:

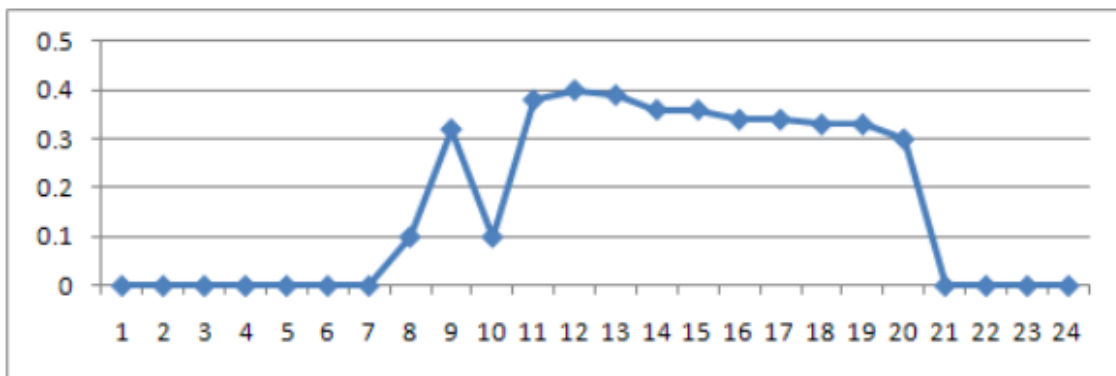


Figura 152 - Perfil de densidade de ocupação da Igreja para dias úteis [135].

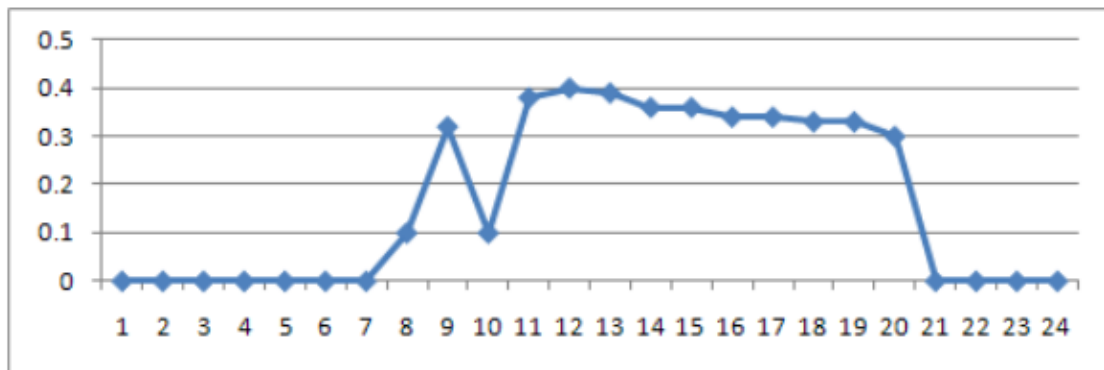
**Igreja - sábados:**

Figura 153 - Perfil de densidade de ocupação da Igreja para os sábados [135].

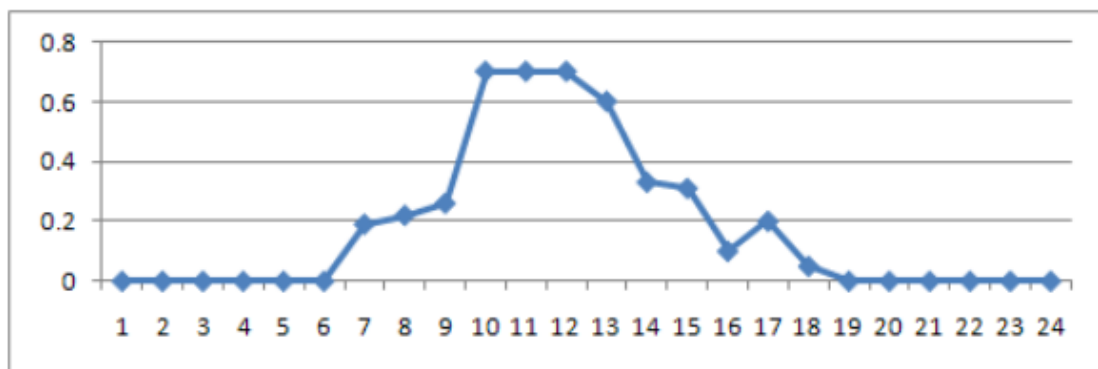
**Igreja - domingos:**

Figura 154 - Perfil de densidade de ocupação da Igreja para os domingos[135].

## 6.9 ANEXO 9

### 6.9.1 Conceitos fotométricos relevantes utilizados nos estudos luminotécnicos

A realização de um estudo luminotécnico envolve vários conceitos, parâmetros e características fotométricas, portanto, com base nos textos da autora J. Iwashita [136] e da empresa Lumidec [137], foram listados a seguir os conceitos que foram considerados mais relevantes para a realização dos estudos luminotécnicos neste trabalho:

- **Iluminância (E):** é definida sendo a medição da quantidade de luz (fluxo luminoso), que incide sobre uma superfície afastada da fonte luminosa. A iluminância se expressa na razão entre o fluxo luminoso (lm) incidido pela área iluminada ( $m^2$ ), ou, através da razão entre a intensidade luminosa (cd) e o quadrado da distância ( $m^2$ ) entre a fonte luminosa e a superfície iluminada. **A unidade da iluminância é o lux (lx);**
- **Intensidade luminosa (I):** é a quantidade de luz emitida por uma fonte por unidade de ângulo sólido (ângulo sólido é o ângulo entre o centro da esfera e percorre uma determinada área superficial da esfera, e sua unidade é o esferorradiano (sr), projetada numa determinada direção. O valor da intensidade luminosa está diretamente relacionado à direção da fonte luminosa. Portanto, a intensidade luminosa pode ser expressa pela razão entre o fluxo luminoso e seu algum ângulo sólido correspondente. **A unidade da intensidade luminosa é a candelas (cd),** e dependendo da situação pode ser expressada em candelas/1.000 lúmens;
- **Luminância (L):** é definida sendo a intensidade luminosa de uma fonte luminosa produzida ou refletida por uma superfície iluminada, assim sendo expressa pela razão entre a intensidade luminosa (cd), e a superfície aparente ( $m^2$ ), logo a sua unidade é **cd/m<sup>2</sup>**;
- **Fluxo luminoso:** é a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa sendo alimentada pela sua tensão nominal de funcionamento. **A unidade do fluxo luminoso é o lúmen (lm),** o qual é definido sendo o fluxo luminoso dentro de um cone de 1 esferorradiano emitido por um ponto luminoso com intensidade de 1 cd;
- **Índice de reprodução de cor (IRC):** é a medida de correspondência entre a cor real de um objeto ou superfície e sua aparência diante de uma fonte luminosa, portanto quanto maior o valor do IRC, melhor a reprodução das cores, sendo medido numa escala de 0 a 100, assim lâmpadas com IRC igual a 100 apresentam as cores reais do objeto ou superfície iluminada;

- **Eficiência luminosa:** é a razão entre o fluxo luminoso (lm) a potência (W) da fonte luminosa, logo a sua unidade é lm/W, sendo assim utilizada como indicador de eficiência;
- **Temperatura de cor (K):** é uma grandeza que expressa a aparência da cor emitida por uma fonte de luz em Kelvin. Quanto mais alto o valor da temperatura de cor, a tonalidade de cor da luz fica mais clara, neste contexto, quando utilizado os termos luz quente e luz fria, é referente a tonalidade da cor da luz, e não ao calor físico da lâmpada, assim a luz quente possui aparência entre o vermelho e o amarelo, e baixa temperatura de cor, e a luz fria possui a aparência azul violeta, e temperatura de cor maiores que 6.000 Kelvin, como ilustrado Figura 155;

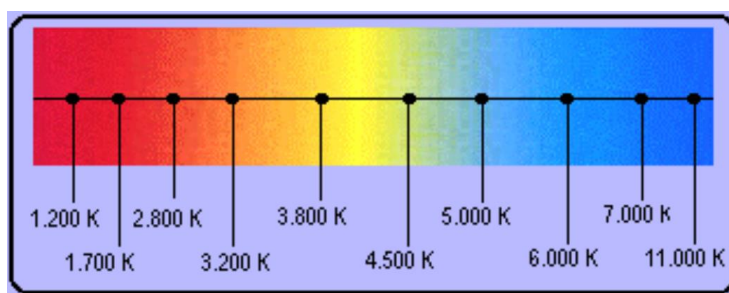


Figura 155 – Escala da temperatura de cor [144].

- **Fator de utilização (FU):** é definida sendo a razão entre o fluxo luminoso (lm) que ilumina uma determinada superfície de referência e o fluxo luminoso emitidos pelas lâmpadas, e indica a eficiência luminosa da luminária, lâmpada, e do meio que ela está iluminando, considerando as dimensões do ambiente e as refletância do piso, paredes e teto.
- **Fator ou índice de reflexão:** é definido sendo a relação percentual entre o fluxo luminoso refletido pelo incidente. Num cálculo luminotécnico é importante determinar os índices de reflexão das paredes, tetos e piso, pois os seus valores são influenciados pelas cores dos materiais iluminados;
- **Curva de distribuição luminosa (CDL):** representa a distribuição espacial da intensidade luminosa nos planos longitudinal, transversal e diagonal, que passam através da luminária, em função de diversos ângulos, sendo geralmente representada através de coordenadas polares com valores na razão de cd/1.000 lm, como ilustrado na Figura 156. Para se obter a intensidade luminosa em cada ângulo, os valores em cd/1.000 lm informados na CDL devem ser multiplicados pelo fluxo luminoso da lâmpada de interesse, e depois

divididos por 1.000 lm, sendo que as lâmpadas de mesma dimensão possuem a mesma curva de distribuição, mas intensidade luminosas diferentes, caso as lâmpadas possuírem o fluxo luminoso diferentes.

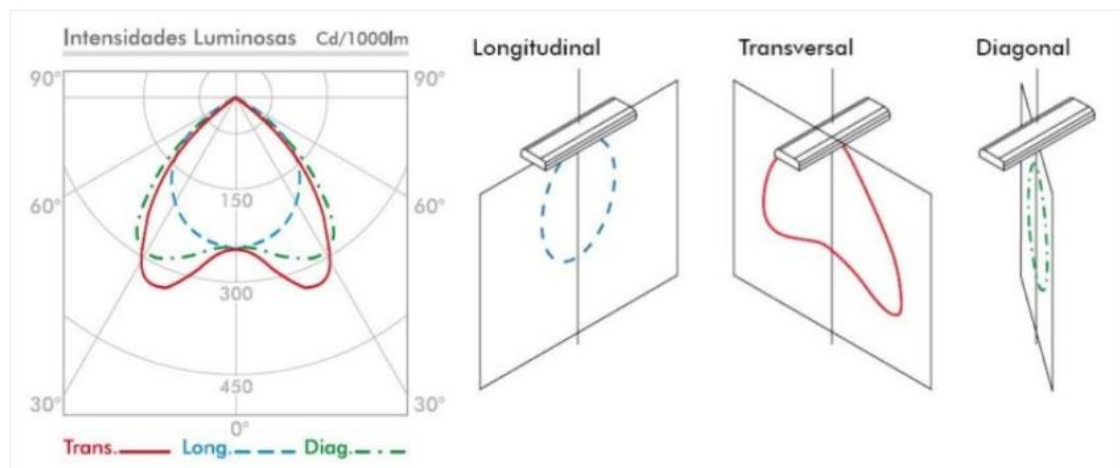


Figura 156 – Representação de uma curva de distribuição luminosa e seus planos [145].



## 6.10 ANEXO 10

### 6.10.1 Tipos de sistemas de climatização do Revit®

As características dos sistemas de climatização definidos no Revit®, são baseados nas pesquisas realizadas pela CBECS, que abrangem os edifícios comerciais dos EUA, e foram retiradas do site da Autodesk® [138], e estão listados a seguir:

#### **Sistema Fan Coil com 2 tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras eficiência 84,5%**

- Resfriador de centrífuga resfriado a água (COP 5.96);
- Abordagem de torre de resfriamento aberta de pressão atmosférica com ventilador de velocidade variável e 2,8 graus Celsius;
- Ventilador de volume constante curvado para frente e motor de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 2,5 polegadas (62,3 pascais) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante;
- Caldeira de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500 kBtuh, eficiência de combustão de 84,5%;
- Bomba de água quente de volume variável;
- Serpentina de água quente;
- Bomba de água resfriada de volume variável;
- Serpentina de água resfriada;
- Bomba de água condensada de volume variável;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 - métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **Sistema Fan Coil com 4 tubos, Resfriador 5.96 COP, caldeiras eficiência 84,5%**

- Resfriador de centrífuga resfriado a água (COP 5.96);
- Abordagem de torre de resfriamento aberta de pressão atmosférica com ventilador de velocidade variável e 2,8 graus Celsius;
- Ventilador de volume constante curvado para frente e motor de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 2,5 polegadas (62,3 pascais) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante;
- Caldeira de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500 kBtuh, eficiência de combustão de 84,5%;
- Bomba de água quente de volume variável;
- Serpentina de água quente;
- Bomba de água resfriada de volume variável;
- Serpentina de água resfriada;

- Bomba de água condensada de volume variável;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 - métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **11 EER VAV completo, aquecimento de boiler a 84,5%**

- Eficiência 11 EER, unidade de volume de ar variável de 20 toneladas (VAV), reaquecimento de água com motor de velocidade variável (VSD - *Variable Speed Drive*);
- Ventilador curvado para frente com VSD e motor de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 3,5 polegadas (871,8 pascais), com sistema de dutos de pressão estática;
- Economizador de temperatura de bolbo seco diferencial integrado;
- Caldeira de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500 kButh, AFUE (*Annual Fuel Utilization Efficiency* - Eficiência anual de utilização de combustível) de 84,5%;
- Bomba de água quente de volume constante;
- Serpentina de água quente;
- Caixas de reaquecimento de água quente;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **12 SEER VAV/0,9 AFUE Split/Completo Gás, 5-11 Ton**

- Eficiência de 12 SEER, sistema *split* com caldeira de aquecimento a gás com AFUE de 90%;
- Ventilador de volume constante curvado para frente e motor de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 2,0 polegadas (498 pascais), com sistema de dutos de pressão estática de volume constante;
- Economizador de temperatura de bolbo seco diferencial integrado;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **Ventilação/Ar-condicionado compacto 11,3 EER, caldeira eficiência 84,4%**

- Eficiência de 12 SEERS/7,7 HSPF (*Heating Seasonal Performance Factor* – Fator de Desempenho Sazonal de Aquecimento) < sistema de bomba de aquecimento *split/completo* de 11,25 Ton;

- Ventilador de volume constante curvado para frente e motor de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 2,0 polegadas (498 pascais), com sistema de dutos de pressão estática de volume constante;
- Economizador de temperatura de bolbo seco diferencial integrado;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **Bomba de aquecimento de terminal compacto (PTAC) 12 SEER/8,3 HSPF**

- 12 SEER/8,3 HSPF bomba de aquecimento de terminal completo;
- Ventilador de volume constante curvado para frente e motor de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 2,0 polegadas (62,3 pascais) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento de resistência elétrica, Resfriador 5,96 COP**

- Resfriador de centrífuga resfriado a água (COP 5,96);
- Abordagem de torre de arrefecimento aberta de pressão atmosférica com ventilador de velocidade variável e 2,8 graus Celsius;
- Ventilador curvado para frente com motor de velocidade variável e de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 3,5 polegadas (871,8 pascais), com sistema de dutos pressão estática de Volume de Ar Variável (VAV);
- Economizador de temperatura de bolbo seco diferencial integrado;
- Caixas de reaquecimento de resistência;
- Bomba de água resfriada;
- Bomba de água condensada de volume variável;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento HW, Resfriador 5,96 COP, caldeiras eficiência 84,5%**

- Resfriador de centrífuga resfriado a água (COP 5,96);

- Abordagem de torre de resfriamento aberta de pressão atmosférica com ventilador de velocidade variável e 2,8 graus Celsius;
- Ventilador curvado para frente com motor de velocidade variável e de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 3,5 polegadas (871,8 pascais), com sistema de dutos de pressão de Volume de Ar Variável (VAV);
- Economizador de temperatura do bolbo seco diferencial integrado;
- Caldeira de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500 kBtuh, eficiência de combustão de 84,5%;
- Bomba de água quente de volume variável;
- Serpentina de água quente;
- Caixas de reaquecimento de água quente;
- Bomba de água resfriada;
- Bomba de água condensada de volume variável;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **Gás de sistema dividido/compacto residencial 14 SEER/0,9 AFUE < 5,5 Ton**

- Eficiência de 14 SEER/ fornalha de 90% AFUE < 5,5 toneladas sistema *split*/completo com aquecimento a gás;
- Ventilador de ciclo de volume constante residencial;
- Manômetro de água de 2,0 polegadas (498 pascais), com sistema de dutos de pressão estática de volume constante;
- Economizador de temperatura de bolbo seco diferencial integrado;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

#### **Bomba de aquecimento de sistema dividido compacto residencial 14 SEER/8,3 HSPF**

- Eficiência de 14 SEER/8.3 HSPF < sistema de bomba de aquecimento *split*/completo de 5,5 toneladas;
- Ventilador de ciclo de volume constante residencial;
- Manômetro de água de 2,0 polegadas (498 pascais) com sistemas de dutos de pressão estática de volume constante;
- Economizador de temperatura de bolbo seco diferencial integrado;
- Unidade de água quente sanitária (fator de energia de 0,575 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

**Bomba de aquecimento de sistema split residencial 17 SEER/9,6 HSPF < 5,5 Ton**

- 17.4 SEER/9,6 HSPF, bomba de aquecimento de fonte de ar *split*/completa, modo de ventilador intermitente de 5,5 toneladas;
- Ventilador de ciclo de volume constante residencial;
- Manômetro de água de 2,0 polegadas (498 pascais) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante;
- Eficiência *premium*, aquecedor de água quente sanitária sem tanque sob demanda (fator de energia de 0,85 – métrica para comparar a eficiência de conversão de energia de aparelhos e equipamentos residências utilizadas nos EUA).

**Distribuição de ar abaixo do piso**

- Sistema *Packaged* de Volume de Ar Variável (PVAV) com distribuição de ar abaixo do piso;
- Ventilador curvado para frente com motor de velocidade variável e de eficiência *premium*;
- Manômetro de água de 3,5 polegadas (871,8 pascais), com sistema de dutos de pressão estática;
- Caldeira de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500 kBuh, eficiência de combustão de 84,5%;
- Economizador de reaquecimento de água quente;
- Aquecedor de água de quente residencial de eficiência aprimorada (eficiência térmica de 85%).

## 6.11 ANEXO 11

### 6.11.1 Períodos e tempo da Análise Solar utilizando o Insight 360

Com base nas informações disponibilizadas pela Autodesk Sustainability Workshop® [128], o plug-in Insight 360 do Revit® possui três opções, opções dos resultados referente ao cálculo de radiação solar, sendo o valor de **pico**, **médio** ou **acumulativo**.

O valor de **pico** representa o valor máximo estimando durante o período definido de estudo, geralmente utilizado num determinado dia, mês ou estação para encontrar o período em que a intensidade da radiação solar é máxima, para auxiliar no dimensionamento de sistema de climatização, pois o ganho de calor solar do edifício está diretamente relacionado com a procura de arrefecimento. Em relação a painéis fotovoltaicos, o valor de pico estimado da radiação solar auxilia no dimensionamento dos inversores do sistema fotovoltaico, entretanto, segundo a Autodesk Sustainability Workshop [128], é comum considerar o valor de pico igual a 1.000 W/m<sup>2</sup> para grande parte do planeta, com isso este tipo de análise quase não é utilizada [128].

Análise da **média** da radiação solar representa a média horária dos valores da radiação durante o tempo definido para a análise, e somente é considerado os períodos em que a raios solares, ou seja, mesmo que o tempo configurado para a análise solar considerar os períodos da noite, eles são desconsiderados nos cálculos. De modo geral, quando se utiliza a média da radiação solar, o tempo de análise é em relação a um determinado mês ou estação do ano, durante o período de funcionamento do edifício, assim permitindo estimar o potencial de aquecimento solar passivo. Para sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar, através da média da radiação solar é possível calcular a potência total disponível multiplicando o valor da radiação solar média pelo total de horas, e pela eficiência do sistema de interesse [128].

A opção da análise **acumulativa**, é a soma de todos os valores da radiação solar estimada durante o período de tempo definido, assim habitualmente utilizada para determinar a geração total de energia ou de poupança energética, sendo que esta opção de análise solar pode ser mais precisa do que usar médias de períodos específicos de tempo. A análise solar acumulativa da radiação solar, geralmente é aplicada em estudos que se pretende entender o comportamento da carga de aquecimento e/ou arrefecimento durante um determinado período de tempo, considerando o ganho de calor solar pelo edifício, por exemplo, estimar o ganho de calor através da massa térmica de uma parede externa do edifício. Em relação ao sistema fotovoltaico, a análise acumulativa possibilita estimar a energia total que será absorvida pela superfície do painel solar durante um período de tempo ou durante o ano inteiro [128].

O período de tempo da análise solar é definido através das configurações do sol, na ferramenta de Estudo Solar, a qual é possível escolher o estudo solar estático, dia

único, múltiplos dias, e iluminação, além de configurar a localização, data, hora, e especificar o nível do edifício que está no plano de chão, como ilustrado na Figura 157.

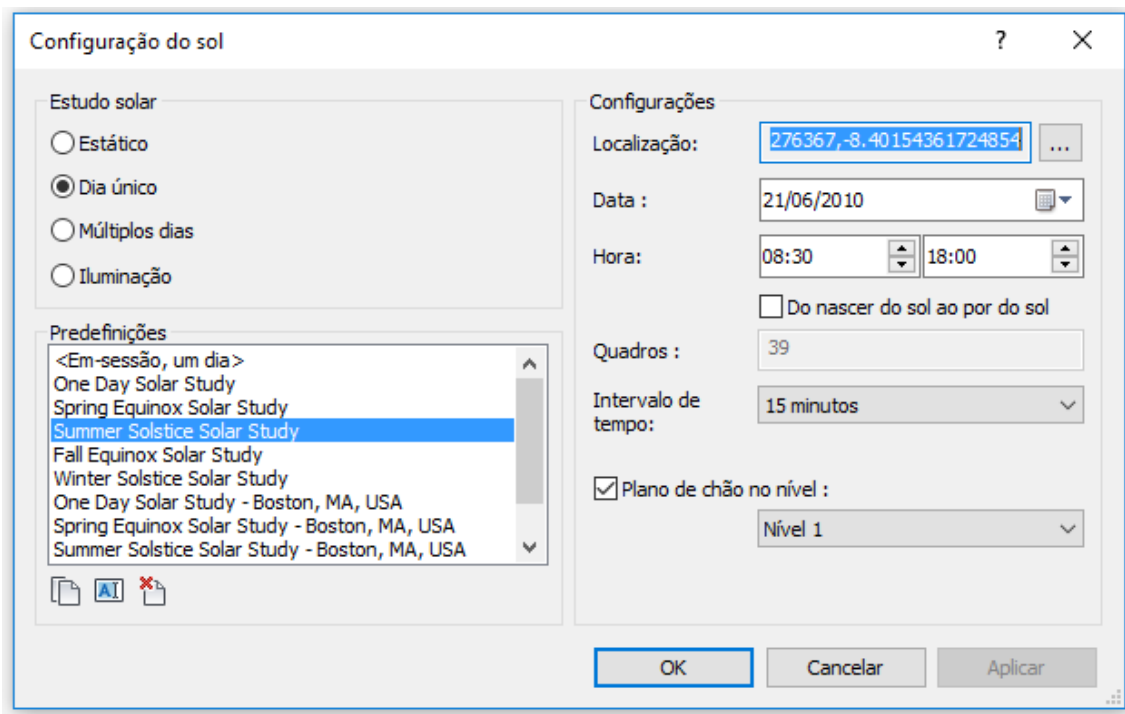


Figura 157 – Janela da configuração do sol do Revit®.

Um ponto importante a ser destacado, é se a análise solar foi realizada num período de uma hora, os valores obtidos nas opções de pico, média ou acumulativo serão iguais, e segundo a Autodesk Sustainability Workshop [128], a radiação solar média incidente no planeta é igual a 240 W/m<sup>2</sup>.

## 6.12 ANEXO 12

### 6.12.1 Resultados da análise da radiação solar acumulada

#### Solstício de verão

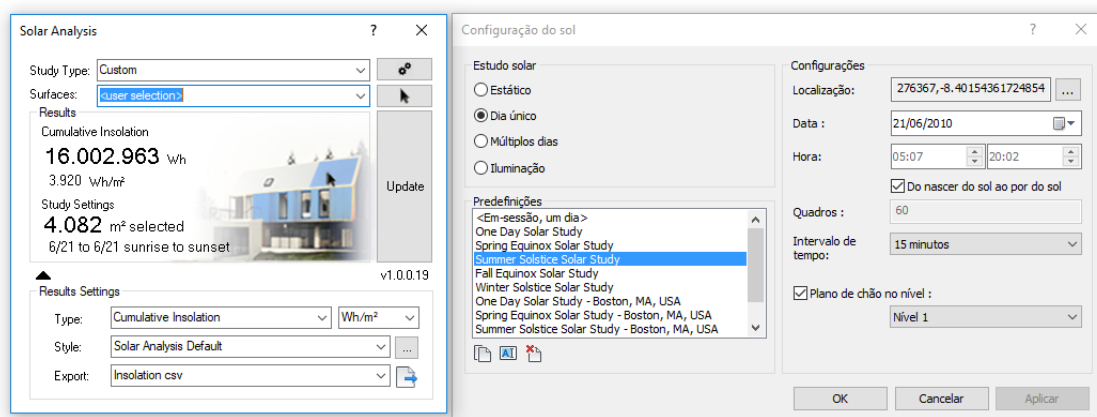


Figura 158 - Configuração da análise da radiação solar acumulada no solstício de verão.

#### Solstício de inverno

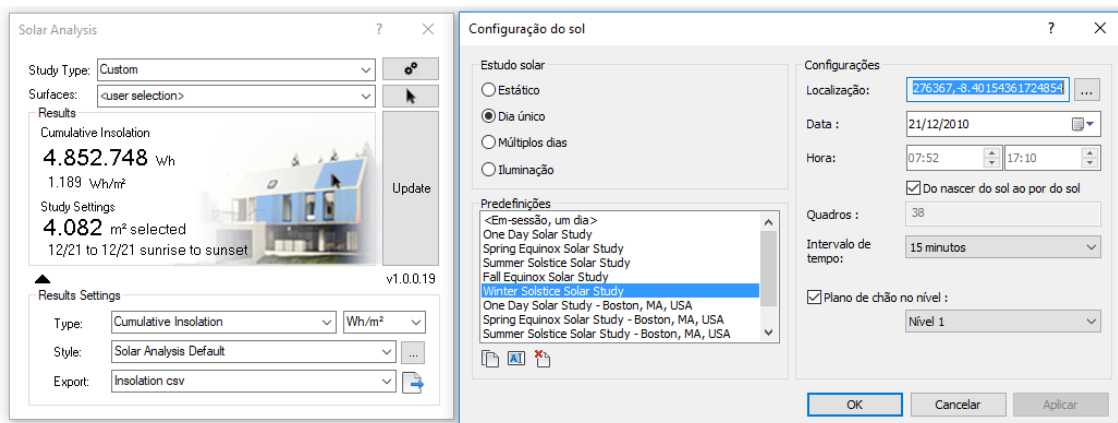


Figura 159 - Configuração da análise da radiação solar acumulada no solstício de inverno.



## Equinócio de primavera

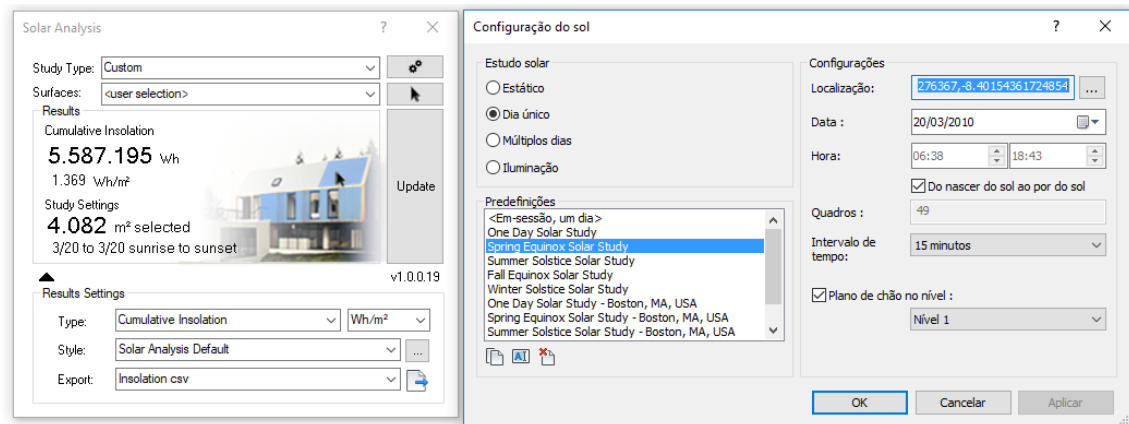


Figura 160 - Configuração da análise da radiação solar acumulada no equinócio de primavera.

## Equinócio de outono

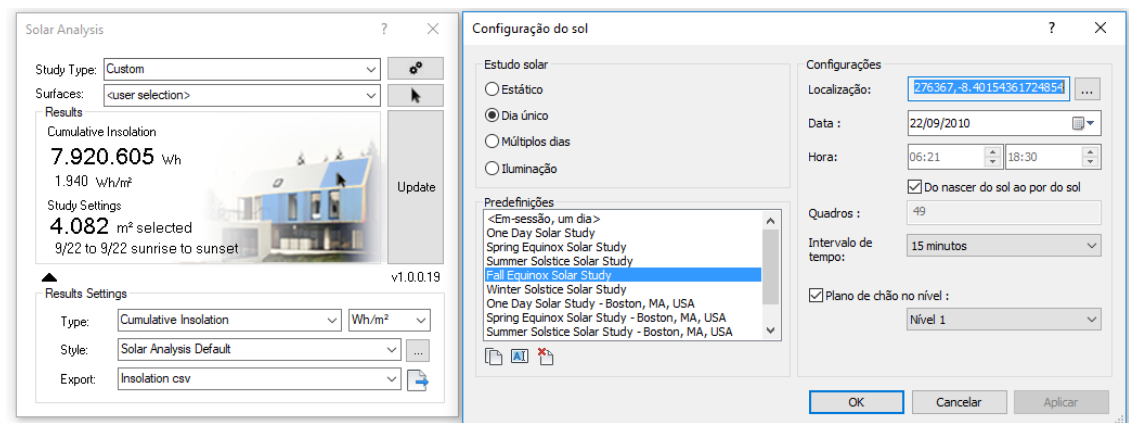


Figura 161 - Configuração da análise da radiação solar acumulada no equinócio de outono.

## 6.13 ANEXO 13

### 6.13.1 Análise da luz natural no Revit®

Por meio do *plug-in* Insight® é possível realizar estudos da luz natural através da função “*Lighting*”. Os modelos disponíveis para a realização do estudo da luz natural são: ***illuminance analysis, daylight autonomy (sDA preview), LEED 2009 IEQc8 opt 1, LEED v4Qc7 opt 2, e solar access***. Para realização da análise da luz solar pelo Revit® é necessário comprar créditos para a execução da análise nos servidores da Autodesk®, e não há opção de executar a análise de modo local. Portanto, é necessário sempre conferir se as configurações para análise estão certas, e saber avaliar o modelo realmente que satisfaz o objetivo e o seu custo em crédito. A versão estudantil do Revit® não necessita de créditos para realizar as simulações.

O modelo **LEED 2009 IEQc8 opt 1**, para a realização da análise da luz natural considera o dia 21 de setembro em dois horários diferentes, às 9h e às 15h, sendo que os dados meteorológicos é uma média ao longo de 15 dias. Este modelo limita os valores da iluminância entre 10 a 500 *foot-candles* (não há opção de mudar a unidade) [139].

O modelo **LEED v4Qc7 opt 2**, considera valores dos dados meteorológicos médios do equinócio de primavera e outono obtidos ao longo de 15 dias, com céu claro, nos dias 21/3 e 21/9 às 9h e às 15h. E este modelo limita os valores da iluminância de 300 até 3.000 lux [139].

A utilização do modelo ***daylight autonomy (sDA preview)*** é indicada quando existe o interesse de economizar créditos da Autodesk® para execução da análise de luz natural, mas com bons resultados em relação a autonomia de luz natural no edifício, assim viabilizando analisar o impacto de várias modificações ou modelo de edifício, sendo uma pré-visualização do modelo **LEED v4Qc7 opt 2**, mas os resultados são obtidos por meio de uma amostragem dos dados entre o dia 1 de janeiro até 31 de dezembro das 8h às 18h, ou seja, a análise considera 3.650 horas para obtenção dos resultados [139].

Segundo a Autodesk® [140], o modelo ***solar access*** é geralmente utilizado em países e regiões em que novos edifícios são obrigados a seguirem valores específicos de incidência solar, como por exemplo o SEPP 65 na Austrália. Neste modelo, é possível configurar a data, o intervalo de tempo, tempo mínimo para atingir o limite mínimo de 4.000 lux, e a altura do plano de cálculo referente ao chão, sendo que a irradiação normal direta e a irradiação horizontal global são consideradas iguais a 1.000 W/m<sup>2</sup>, e a irradiação horizontal difusa igual a 1 W/m<sup>2</sup>.

E o último modelo ***illuminance analysis***, permite o utilizador personalizar a análise da luz natural, assim podem escolher o modelo de céu entre: ***Perez All-Weather Sky, CIE Overcast Sky, CIE Intermediate Sky, CIE Clear Sky, CIE Uniform Sky, Daylighting Factor Sky***. Também permite configurar data e hora, altura do plano de cálculo, e resolução do plano de cálculo.

Segundo a Autodesk Knowledge Network [134], o modelo de céu **Perez** é o mais utilizado em simulações de análise da luz natural, devido possuir bons resultados considerando todos os tipos de céu, de céu limpo até nublado (encoberto), com isso sendo o modelo utilizado pela classificação LEED, e também permite especificar o valor da Irradiação Horizontal Normal Direta, da Irradiação Horizontal Normal Global, e da Irradiação Horizontal Difusa. Os modelos **CIE** são simplificações do Perez, sendo utilizado quando se quer analisar a luz natural em condições de céu definido, como claro, intermediário e nublado. O modelo **Factor Sky**, calcula a percentagem de luz natural que é incidida sobre uma superfície de interesse (plano de cálculo), em relação a uma superfície de referência horizontal sem sombra no mesmo modelo de céu, assim a localização, data e hora são desconsiderados.

A Autodesk Knowledge Network [134] recomenda que quando não se sabe qual modelo de céu utilizar realizar a análise de luz natural, começando pelo modelo **CIE Overcast Sky**, por considerar raios solares diretos e difusos, representando um céu com nuvens, situação que pode acontecer em qualquer hora do dia, assim sendo próximo da realidade. Outro modelo recomendado, é a utilização do modelo Perez em um equinócio, e nos solstícios de verão e inverno ao meio dia, sendo que o intervalo de visualização padrão é às 9h e às 15h.

Entretanto, o modelo de análise de luz natural **LEED v4Qc7 opt 2**, segundo a Autodesk Knowledge Network [141], foi desenvolvido com objetivo de auxiliar arquitetos e engenheiros na análise da luz natural em seus projetos sem que seja necessário eles aprenderem a diferença entre os modelos de céu que devem utilizar. Assim, utilizando o modelo **LEED v4Qc7 opt 2**, o utilizador precisa somente especificar se a análise é aplicada em todo o edifício ou somente num andar específico, e iniciar a análise.

Portanto, para que o modelo de análise **LEED v4Qc7 opt 2** consiga resultados precisos, e que através deles seja possível compreender a disponibilidade e intensidade da luz natural nos ambientes dos edifícios, além da intensidade de brilho e de ganho de calor, o **LEED v4Qc7 opt 2**, utiliza duas métricas, sendo o **Spatial Daylight Autonomy (sDA)** e **Annual Sunlight Exposure (ASE)**.

Segundo K. V. D. Wymelendberg and A. Mahic [142], a finalidade da métrica **sDA** é avaliar se o ambiente de interesse possui incidência de luz natural suficiente entre 8h às 18h, através de um plano de cálculo horizontal (plano de trabalho, que geralmente possui uma altura referente ao chão de 0,80 m), e utilizando dados climáticos da estação meteorológica indicada na localização do projeto. A escala do **sDA** é 0 a 100%, referente a quantidade de área do ambiente que recebe a quantidade de luz natural suficiente, **mais precisamente, a métrica sDA define a percentagem de área do piso que recebe pelo menos 300 lux durante metade (50%) das horas anuais que o ambiente foi ocupado**. Assim valores de **sDA** maiores que 75%, significa que o ambiente do edifício possui a quantidade de luz natural “preferida” pelos ocupantes, valores do **sDA** entre 55% a 74%, indica que a quantidade de luz natural é “normalmente aceita” pelos ocupantes, portanto os engenheiros e arquitetos devem

buscar valores de sDA maiores que 75% para ambientes frequentemente ocupados, como escritórios abertos ou sala de aula, e em ambiente onde a luz natural é importante, valores de sDA maiores que 55%.

A métrica **ASE**, segundo K. V. D. Wymelendberg and A. Mahic [142], possui a finalidade de auxiliar os arquitetos e engenheiros a limitar o excesso de luz solar nos ambientes do edifício, através da medição num plano de cálculo horizontal da presença de luz solar, e não da iluminância, como na métrica sDA. Assim, a escala da métrica ASE vai de 0 a 100%, referente a quantidade de área do ambiente que recebe luz solar direta, mais precisamente, **a métrica ASE determina a percentagem da área do piso que recebe pelo menos 1.000 lux durante um período mínimo de 250 horas anuais que o ambiente foi ocupado**. Deve-se evitar o excesso de luz natural devido o ganho de calor solar, que consequentemente aumenta a carga de arrefecimento, e pode causar desconforto visual devido o brilho excessivo. Assim, o recomenda para que os ambientes do edifício possuam um ASE menor que 10%, pois ambientes com valores maiores podem ter um desconforto visual para os ocupantes.

Portanto, a utilização das duas métricas é necessária, visto que a métrica sDA não limita a quantidade de luz natural no ambiente, assim pode-se entender que quanto mais luz natural incidida no ambiente é uma situação ideal, mas sabe-se que o excesso de luz natural incidida num ambiente pode trazer problemas de conforto visual devido o excesso de brilho e aquecimento indesejado. Então, durante o desenvolvimento do projeto do edifício, os arquitetos e engenheiros devem buscar o maior valor para métrica sDA e ao mesmo tempo o menor valor da métrica ASE, o que em alguns momentos pode ser uma situação muito difícil de ser comprida, pois geralmente quando se aumenta o valor de sDA, o valor de ASE também aumenta, e os autores K. V. D. Wymelendberg and A. Mahic [142] afirmam que isso deve ser feito não somente para conseguir uma certificação específica para o edifício, mas por fazer um bom projeto.